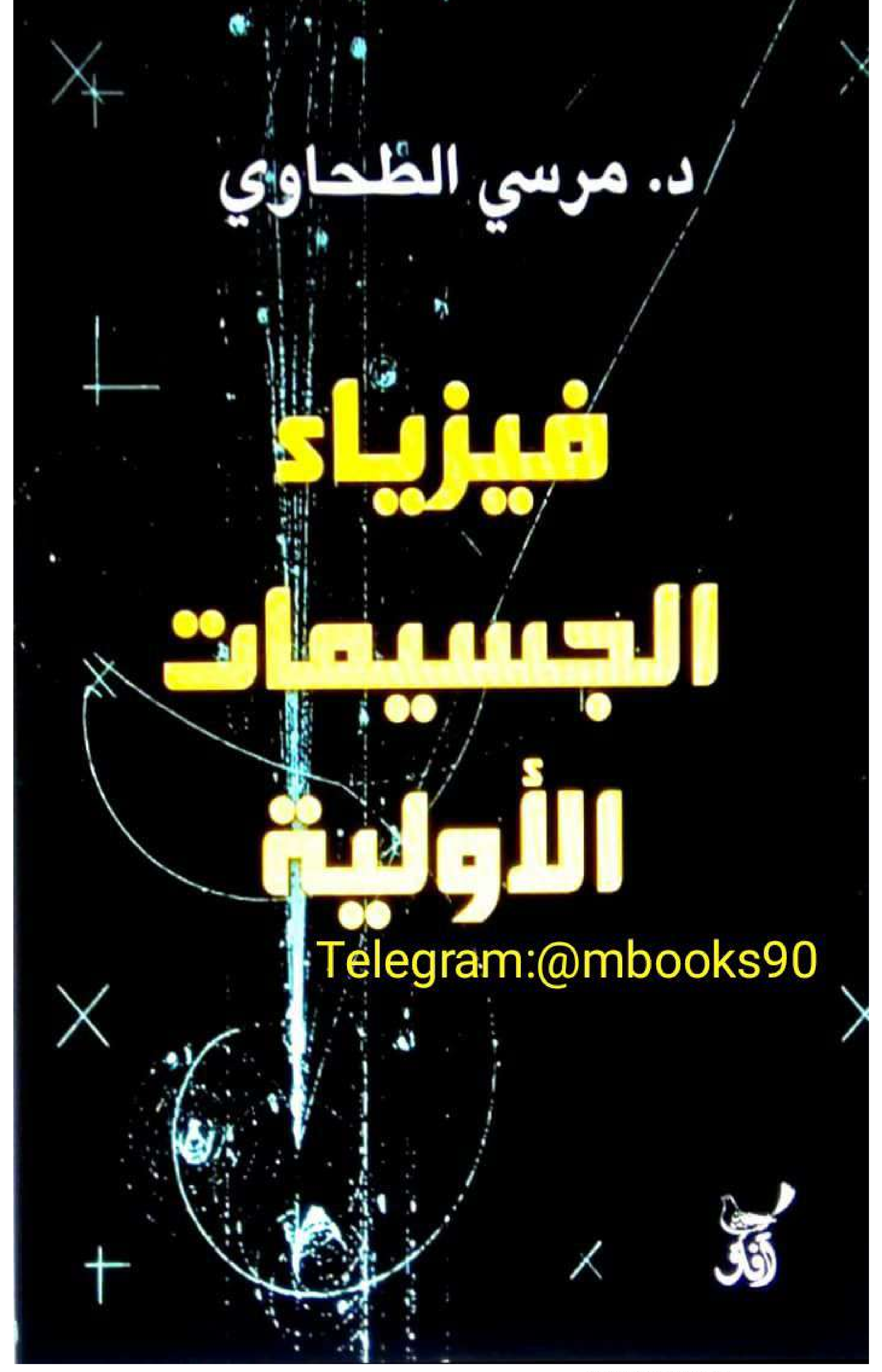

د. مرسي الطحاوي
فيزياء
الجسيمات
الأولية
Telegram:@mbooks90

مقدمة

فيزياء الجسيمات الأوّلية (Elementary Particles) فرع مهم من فروع الفيزياء الحديثة، وبرغم أن الفيزياء تحظى عندنا بنفور معظم تلاميذ المدارس وطلاب كليات العلوم، والهندسة، والطب، والتربية، وغيرها، نفور يكاد يصل إلى الكره، إلا أن هذا النفور لا ينبع من صلب هذا العلم الجميل، ولا من موضوعاته أو من صعوبة فهمه، بل إن مصدر النفور ينبع أساسًا من طريقة تدريسه بما في ذلك ندرة الحصص العملية التجريبية (بل وأحيانًا غيابها تمامًا) سواء التي يستعين فيها المدرس بالتجارب التوضيحية، أو لانخفاض مستوى أو غياب المعامل المخصصة للحصص العملية للطلبة ؛ وكذلك من تشوّه الهدف من دراسته، حيث إن معظم الدارسين والمدرسين يحولون هدف دراسة وتدريس الفيزياء بعيدًا عن الأهداف الصحيحة لفهم الظواهر والعمليات الفيزيائية، والتوصل إلى الروابط بينها وإثارة وتنشيط التفكير المنطقي؛ لتفسير وفهم هذه الظواهر والعمليات، بل يقتصر هدف تعلُّم وتعليم الفيزياء على الوصول إلى أفضل وأقصر الطرق للإجابة عن أسئلة امتحانات هذه المادة، والحصول على أعلى الدرجات سواء لتحسين موقف التلميذ عند التقدم لمكاتب تنسيق وتوزيع التلاميذ على الكليات والمعاهد، أو لاجتياز الطالب الامتحان أو حصوله على أعلى تقدير ممكن فى الكلية أو المعهد. ومن الجدير بالإشارة أن الملاحظ وطنيًا وقوميًا وعالميًا أن هبوط مستوى الاهتمام بالفيزياء -والعلوم الأساسية عمومًا- يرتبط بعمق بتدني مستوى

البحث العلمي والتقدم التكنولوجي والصناعي والاقتصادي.

أصل كلمة «فيزياء» هو «فيزيس» اليونانية وتعنى طبيعة، وكان هذا العلم مرتبطًا بعلم الفلسفة الطبيعية Natural Philosophy، بل ويمكن القول إن كل العلوم الأساسية كانت فروعًا من هذه الفلسفة الطبيعية، وقد بدأ الإنسان يهتم بالطبيعة حوله من آلاف السنين، خاصة في ظل عدم فهم الظواهر الطبيعية وخوفه من آثار بعضها المدمرة والخطرة على حياته ووجوده، كما بدأ في ملاحظة الارتباط المتبادل لبعض هذه الظواهر خاصة تلك التي تلعب دورًا هامًا في تلبية احتياجاته وفى نشاطاته، مثل ارتباط موسم الأمطار وفيضان الأنهر ونضوج الثمار وتصرفات الحيوانات مع تناوب فصول السنة وحركة الأجرام السماوية.

وإذا اعتبرنا الفلك فرع من فروع الفيزياء (أو أحد علوم الفلسفة الطبيعية) فقد تقتنص الفيزياء الريادة التاريخية من بين كل العلوم، إذ بدأت ملاحظة ودراسة ترتيب وحركة الأجرام السماوية وارتباط ذلك بالظواهر الطبيعية المهمة لحياة أهل الحضارات القديمة، فاهتم المصريون منذ فترة ما قبل الأسرات بأهم حدث سنوي وهو فيضان النيل وارتباطه بفصول السنة، وقد اكتشف أقدم أثر فلكي يعود إلى حوالي خمسة آلاف سنة ق.م. تقريبًا، ويسميه علماء الآثار بالدوائر الحجرية وتوجد هذه التركيبة الحجرية فى منطقة نابتا بلايا Nabta Playa على بعد مائة كيلو متر غربي معبد «أبو سنبل» [انظر شكل 1]، وهو عبارة عن جدول حجري يدل على نوع من التقويم التاريخي

ذي علاقة بمواعيد الظواهر الطبيعية والمناخية، كما يدل توجه جوانب الأهرامات [انظر شكل 2] ووجه أبي الهول (نهاية الألف الرابع وبداية الألف الثالث ق.م.) على معرفة واسعة ودقيقة بترتيب النجوم وبالاتجاهات الجغرافية، وكذلك لاحظ السومريون (2000-3000 ق.م.) فى أقدم حضارات بين النهرين حركة الأجرام السماوية وترتيب وضعها سواء فى أبراج النجوم الفلكية Astronomical [انظر شكل 3] أو فى أبراج التنجيم Astrology الأسطورية، ووضعوا ذلك في ألواح الأبراج الشهيرة.

أما نشوء الفيزياء كعلم ممنهج ومكتوب(1) فيمكن إرجاعه إلى الفيلسوف والعالم الإغريقي طاليس Thales (625-456 ق.م.)، أول من حاول تفسير الظواهر والعمليات الطبيعية بعيدًا عن الأساطير المرتبطة بالآلهة ورغباتها، ثم هرقليطس Heraclitus (حوالى 500 ق.م.) والذى اهتم بدور الزمن وتتابعه فى العمليات الطبيعية، ثم عاد ليوكيبوس Leukipos فى النصف الأول من القرن الخامس قبل الميلاد (450-400 ق.م.) ليكون أول من اقترح التركيب الذرى للمادة بشكله الأولي البدائي، حيث قال بأن كل المواد تتركب من ذرات Atoms أو وحدات جد صغيرة لا تُرى ولا يمكن تجزئتها، وتتلمذ عليه «أبو العلوم» –في رأي أغلبية المتخصصين في تاريخ العلوم– الإغريقي ديموقريطوس (460–370 ق.م.)، وعمومًا اعتقد الإغريق أن الكون يتكون من 4 عناصر هي الهواء، الماء، التراب، النار، ثم أضافوا لها الأثير الشفاف عديم الكتلة الذي تتواجد فيه كل الأشياء

والأحياء، وتتكون هذه العناصر الأربعة من الذرات؛ أي الجسيمات الأولية Elementary الأساسية Fundemental، وهي عند الإغريق ذرات الهواء، وذرات الماء، وذرات التراب، وذرات النار، وهكذا احتوت أولى قوائم الجسيمات الأولية على 4 جسيمات.

(1) الفيزياء –مثل كل نواحى العلوم والمعرفة– لم تكن تسجل كتابةً بوضوح فى الحضارة الفرعونية، بل كان الكهنة ينقلونها لتلاميذهم كتعاليم سرية حفاظًا على وضع فئة الكهنوت المميز الاحتكاري.



الباب الأول

الفيزياء الذرية الحديثة والعظماء الثلاثة

منذ منتصف القرن الثامن عشر اهتم العلماء بدراسة تركيب المادة والبحث عن المكونات الأولية الأساسية للعناصر، ويمكن اعتبار أن الفيزياء الذرية الحديثة قد بدأت مع الكيميائي الفرنسي لافوازييه (Antoine-Laurent de Lavoisier،1743-1794) وقانونه التجريبي Emperical Law لبقاء الكتلة أثناء التفاعلات الكيميائية؛ ومع الكيميائي الفيزيائي البريطاني جون دالتون(2) (John Dalton 1766 -1844) الذي بنا «نظريته الذرية» انطلاقًا من دراسته للتفاعلات الكيميائية وتوصله لبعض القوانين التجريبية وأهمها قانون النسب الصحيحة الثابتة Law of Multiple Proportions، وأكد أن كل عنصر يتكون من ذرات: جسيمات صغيرة متماثلة في الكتلة والحجم والخصائص الأخرى.

(2) للعالم دالتون أبحاث كثيرة في مجالات متباينة في الكيمياء والضوء والبصريات، ويُعرف مصطلح «Daltonism عمى الألوان» باسمه.

واصل العلماء سعيهم نحو الكشف عن مكونات المادة، وعن الجسيمات الأولية التي تتكون منها العناصر في الطبيعة، ومنهم العالم الإيطالي أفوجادرو (Amedo Avogadro، 1776-1856) الذي ركز دراساته على الحالة الغازية للمادة، والكيميائي الروسي مندلييف

(Dmitri Mendeleev، 1834-1907) الذي قام بخطوة مهمة في بناء النظرية الذرية الحديثة بتأسيس الجدول الدوري للعناصر المعروف باسمه. وشاهدت العقود الأخيرة للقرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين اختراقات عظيمة في مجالات الفيزياء الحديثة، وتم معظم تلك الاكتشافات المبهرة أثناء دراسة الفيزيائيين للظواهر الضوئية والظواهر الكهربائية المغناطيسية (الكهرومغناطيسية).

ونعني بالعظماء الثلاثة الجسيمات «الأولية» الثلاثة التي تتكون منها «كل» عناصر الكون الذي نعرفه إلى درجة جيدة حتى الآن، وهي الإلكترون والبروتون والنيترون.

***

1-1 الإلكترون

كلمة إلكترون كلمة يونانية وتعني «كهرمان»، الحجر الذي «يتكهرب» بالحك، ومنها أخذ الرومان المصطلح electricus المرتبط بالكهرباء؛ وبدأت دراسة العلماء للإلكترونات منذ منتصف القرن التاسع عشر قبل أن يدرك الباحثون كنهها كجسيمات أولية، ففي 1854 بدأ الفيزيائيون في البحث في طبيعة أشعة الكاثود في أنابيب التفريغ الكهربائي Electric Discharge Tubes؛ ويبعث الكاثود (القطب السالب) في الأنبوب الزجاجي المفرغ جزئيًا من الهواء أو الغاز أشعة تسبب في إضاءة أو توهج luminescence جدار الأنبوب المقابل للكاثود؛ ومن أوائل من درسوا الإلكترونات بمنهج علمي عالم الرياضيات والفيزياء الألماني يوليوس بلوكر (Julius Plucker، 1801-1868) الذي يُعتبر مكتشف أشعة الكاثود في 1858؛ والكيميائي الفيزيائي وليم كروكس (William Crookes، 1832-1919) الذي أكد في 1879 أن هذه الأشعة أو حزمة الجسيمات تنحرف تحت تأثير المجال المغناطيسي بشكل يدل على أنها سالبة الشحنة، كما وجد أن التوهج الناشئ عنها لا يعتمد على نوع الغاز في الأنبوب ولا على نوع المعدن المصنوع منه الكاثود، ولكنه لم يستطع الجزم بكون هذه الأشعة حزمة جسيمات أم إشعاع موجي كالضوء؛ ثم جاء الفيزيائي الألماني هنرخ هرتز(3) (Henrich Hertz، 1857-1894) الذي وضع أنبوب أشعة الكاثود (الذي كان يُسمَّى «أنبوب كروكس») في مجال كهربائي بين لوحين مستويين متضادي الشحنة الكهربائية ولم يلحظ انحرافًا في

مسار الأشعة فأكد بالخطأ أنها أشعة موجية؛ أما الفيزيائيان الهولنديان هندريك لورنتز (Hendrik Antoon Lorentz، 1853-1928) وبيتر زيمان (Pieter Zeeman، 1865-1943) فقد بحثا في موضوع تأثير المجال المغناطيسي على أطياف أشعة الضوء المنبعث من بعض العناصر، وخاصة فيما عُرِف لاحقًا بـ«ظاهرة زيمان» التي ينقسم فيها خط طيف ضوئي معين إلى عدة خطوط تحت تأثير مجال مغناطيسي، وتوصل لورنتز عام 1892 إلى نظريته التي افترض فيها أن المواد تحتوي على جسيمات مشحونة، هي الإلكترونات المسؤولة عن سريان التيار الكهربائي، وتؤدي اهتزازاتها (ذبذباتها) إلى انبعاث الضوء؛ وقد حصل لورنتز وزيمان مناصفة على ثانية جوائز نوبل للفيزياء عام 1902 «عما قدماه من خدمات استثنائية بأبحاثهما عن تأثير المغناطيسية على الظواهر الإشعاعية in recognition of the extraordinary service they rendered by their researches into the influence of magnetism upon radiation phenomena».

(3) سُمّيت وحدات تردد الموجات (عدد الموجات الكاملة المارة بنقطة على مسار انتشارها في الثانية) هرتز، تكريمًا له.

في نفس العام 1892 في معامل كافندش بجامعة كيمبريدج [انظر شكل 4] كرر الفيزيائي البريطاني السير جوزيف جون طومسون (Joseph Jon Thomson، 1856-1940) تجربة هيرتز بأنبوب كروكس مطوّر مع تحسين تفريغه، وأثبت أن أشعة الكاثود عبارة عن

سيل من الجسيمات سالبة الشحنة، وأن مسارها ينحرف تحت تأثير المجال الكهربائي،وعيَّن نسبة شحنة الجسيم إلى كتلته(4)، ومن نتائج مجموعة التجارب التي أجراها خَلُص إلى استنتاجه الشهير «عند دراسة مادة أشعة الكاثود لدينا حالة جديدة، نجد فيها أن تجزيء المادة أعمق بكثير جدًا مما عليه الحال في الحالة الغازية العادية؛ حالة تكون فيها كل المادة، أي المادة المشتقة من مصادر مختلفة مثل الهيدروجين والأكسجين وما إلى ذلك، هي مادة من نوع واحد ونفس النوع، هي المادة التي تتكون منها جميع العناصر الكيميائية».

(4) وحدد أنها تساوي 1/1836 من كتلة أيون الهيدروجين.

وهكذا توصل طومسون -لأول مرة في تاريخ العلم- إلى فكرة أن جسيمات أشعة الكاثود هي جسيمات أولية أساسية من مكونات عناصر المواد بغض النظر عن نوع هذه العناصر، و في مساء يوم الجمعة 30 أبريل 1897، في المعهد الملكي لبريطانيا العظمى The Royal Institution of Great Britain في لندن أعلن طومسون رسميًا اكتشاف الإلكترون، أول الجسيمات الأولية. وقد حصل طومسون على جائزة نوبل للفيزياء عام 1906 «تقديرًا لإنجازاته العظيمة في أبحاثه النظرية والتجريبية في مجال التوصيل الكهربائي في الغازات in recognition of the great merits of his theoretical and experimental investigations on the conduction of electricity by gases».

في 1908 بدأ الفيزيائي الأميركي روبرت ميليكان تجربة «قطرة الزيت» الشهيرة، والتي حدد منها قيمة شحنة الإلكترون e ب C

$$1.592 \times 10^{-19}$$

كولوم، وتعتبر هذه الشحنة الأولية أحد أهم الثوابت الفيزيائية الأساسية (Fundamental Physical Constants)، وجدير بالذكر أن قيمة هذا الثابت المعتمدة حاليًا –بعد أكثر من 110 سنة- هي

$$1.602 \times 10^{-19}$$

كولوم، وهي قريبة جدًا من قيمة ميليكان؛ وانطلاقًا من نسبة الشحنة إلى الكتلة التي توصل إليها طومسون، تم تحديد كتلة الإلكترون بـ

$$9.11 \times 10^{-31}$$

kg كجم.

وقد حصل ميليكان (Robert Millikan، 1862-1953) علي جائزة نوبل للفيزياء عام 1923 عن «أعماله في مجال الشحنة الكهربائية الأولية والظاهرة الكهروضوئية work on elementary electric charge and photoelectric effect».

وها نحن أمام أول الجسيمات الأولية، حتى الآن الإلكترون جسيم أولي بكل مفاهيم هذا المصطلح: لا يتكون ولا يتركب من جسيمات أصغر، مستقر stable لا يتحلل decay أو يتحول إلى جسيمات

أخري، ويدخل مكونًا أساسيًا رئيسًا لكل الذرات، أي لكل العناصر والمواد في الكون.

1-2 البروتون

بعد اكتشاف الإلكترون كمكون أساسي وأولي للعناصر ذي شحنة كهربائية سالبة، توقع العلماء وجود جسيم أولي موجب الشحنة الكهربائية؛ إذ إن الأجسام -في «حالتها العادية»- متعادلة كهربائيًا، ولكن قبل اكتشاف هذا الجسيم، توصل العلماء إلى اكتشاف النموذج النووي للذرة Nuclear Model of the Atom.

يمكن اعتبار أن بداية قصة اكتشاف الجسيم الأولي موجب الشحنة تعود إلى عام 1815 عندما اقترح عالم الكيمياء الفيزيائية وليم بروت (William Prout، 1785-1850) فرضيته Prout's Hypothesis التي تنص على أن الوزن الذري لأي عنصر يساوي مضاعفات صحيحة للوزن الذري للهيدروجين، وفي 1886 اكتشف الفيزيائي الألماني يوجين جولدشتاين (Eugene Goldstein، 1850-1930) وجود جسيمات موجبة الشحنة بإجراء تجاربه باستخدام تصميم جديد لأنبوب أشعة الكاثود مزود بثقوب في لوح الكاثود، فلاحظ أن هناك أشعة تسير في الاتجاه المعاكس من لاتجاه أشعة الكاثود، وقد أطلق عليها مُسمَّى أشعة القناة Canal Rays، وأثبت أن هذه الأشعة عبارة عن سيل من جسيمات موجبة الشحنة.

في فترة ما بعد اكتشاف طومسون للإلكترون، بل وحتى بداية العقد الثاني من القرن العشرين كان نموذج الذرة السائد يتصوره الفيزيائيون على هيئة جسيم كروي موجب الشحنة تلتصق به الإلكترونات سالبة

الشحنة كما تلتصق حبات السمسم على قرص الخبز، أو كقرص «البودنج» موجب الشحنة تختلط به الإلكترونات كحبات البرقوق، وكان هذا النموذج يُعرف بـ «نموذج بودنج البرقوق Plum Pudding Model» أو نموذج طومسون للذرة؛ واستمر هذا الوضع حتى تجارب عالم الفيزياء والرياضيات والكيمياء الإنجليزي (نيوزيلندي المولد) الفذ إرنست روذرفورد (Ernest Rutherford، 1871-1937).

بدأ روذرفورد طريق البحث العلمي مبكرًا بجامعة نيوزيلندا في ولينجتون، إلا أن مواهبه العلمية البحثية تفتحت وأثمرت منذ التحاقه بجامعة كامبريدج في 1894 عندما حصل على منحة علمية للبحث تحت إشراف طومسون مكتشف أول الجسيمات الأولية، ووجه اهتمامه العلمي -بدرجة كبيرة- إلى البحث في طبيعة وخصائص الإشعاع عمومًا، وأشعة اليورانيوم المكتشفة حديثًا على وجه الخصوص، وكان هو صاحب الفضل في تسمية نوعين من هذه الأشعة: أشعة ألفا α Rays، وأشعة بيتا Rays.

أثناء العمل كأستاذ باحث زائر في جامعة ماكجيل بكندا (1898-1907) درس روذرفورد بعناية خصائص أشعة ألفا، واكتشف غاز الثورون النبيل المشع المنبعث من الثوريوم، ووضع (مع الاستعانة بالكيميائي البريطاني فريدريك سودي) نظرية التفكك الإشعاعي Theory of Radioactive Decay، وأثبت أن أشعة ألفا عبارة عن سيل من جسيمات هي أيونات الهليوم مزدوجة الشحنة الموجبة؛ وبعد العودة إلى إنجلترا حصل روذرفورد على جائزة نوبل للكيمياء (!) عام

1908 عن «أبحاثه في مجال تفكك العناصر وكيمياء المواد النشطة إشعاعيًاfor his investigations into the disintegration of the elements, and the chemistry of radioactive substances.».

واصل روذرفورد مع جايجر في معمل مانشستر دراسة خواص أشعة ألفا وتشتتها، واقترح روذرفورد في عام 1909 مشروع بحث على إرنست مارسدن (أحد الخريجين) أن يبحث في تشتت جسيمات ألفا بزوايا كبيرة عند مرور شعاع ألفا خلال رقيقة thin foil من الذهب، فوجد مارسدن أن عددًا صغيرًا من جسيمات ألفا تنحرف – على غير المتوقع- بزوايا أكبر من 90 درجة عن اتجاهها الأصلي؛ وقد علق روذرفورد على ذلك بمقولته الشهيرة «لقد كان الأمر لا يصدق كما لو أنك أطلقت قذيفة بحجم 15 بوصة على قطعة منديل ورقي فعادت إليك وضربتك»؛ وقد هداه التفكير العميق في تفسير هذه النتيجة الغريبة –بالنسبة لذلك الوقت- إلى مفهوم «النواة nucleus»، مساهمته الأعظم في الفيزياء.

وهكذا على أساس نتائج تجارب تشتت أشعة ألفا، اقترح روذرفورد عام 1911 نموذجًا لبناء ذرات العناصر، ووفقًا لهذا النموذج، فإن كتلة الذرة بأكملها تقريبًا مع الشحنة الموجبة للذرة تتركز في حيز دقيق في مركزها، وقد اشترك في تطوير واستكمال هذا النموذج علماء فيزياء وكيمياء آخرون، نذكر منهم فريدريك سودي(5) المشار إليه أعلاه، والبريطاني هنري موسيلي (Henry Moseley، 1887- 1915)،

وبالطبع كان للفيزيائي الدنمركي نلس بور(6) (Neils Bohr، 1885-1962، جائزة نوبل للفيزياء 1922) فضل عظيم في هذا المضمار لدرجة أن نموذج الذرة الحديث كثيرًا ما يُسمَّى باسم ذرة بور Bohr's Atom.

(5) حصل فريدريك سودي Frederick Soddy على جائزة نوبل للكيمياء عام 1921 عن أبحاثه في مجال المواد المشعة ووضعِ نظرية النظائر for investigating radioactive substances and for elaborating the theory of isotopes.

(6) جدير بالذكر أن بور زار معمل روذرفورد (معمل مانشستر) في العام 1910، ثم عاد إلى المعمل في زيارة علمية طويلة للفترة 1914-1916 كعضو هيئة البحث والتدريس بجامعة مانشستر.

واصل روذرفورد تجاربه على تأثير أشعة ألفا على المواد، خاصةً في حالتها الغازية، وعند دراسة تأثير مرور أشعة ألفا (أي سيل جسيمات ألفا) خلال أنبوب يحتوي على غاز الهيدروجين تحت ضغط منخفض، لاحظ روذرفورد أن الكاشف detector يُسجل -إلى جانب أيونات الهليوم- أيونات الهيدروجين، وكان هذا متوقعًا؛ إذ تصطدم بعض جسيمات ألفا بذرات الهيدروجين وتعطيها جزء من طاقتها أي تُكسبها سرعة فتصل للكاشف؛ ولكن من المدهش أنه لاحظ أيضًا وصول أيونات الهيدروجين عندما تخترق أشعة ألفا غاز النيتروجين، أي عندما تصطدم جسيمات ألفا مع ذرات النيتروجين.

بعد انتهاء الحرب العالمية الأولى في عام 1919، وبعد أن حل

روذرفورد محل أستاذه طومسون في وظيفة «أستاذ كافنديش Cavendish Professor» للفيزياء بجامعة كامبردج، واصل روذرفورد تجاربه، وتوصل إلى اكتشافه العظيم: أول تفاعل نووي Nuclear Reaction من صنع الإنسان، وهو التفاعل الذي شغل تفكيره خلال سنوات الحرب، وفي واقع الأمر فإن الذي ساعده في الصياغة العلمية المنضبطة لهذا التفاعل هو الفيزيائي البريطاني الشاب (عندئذ) -الحاصل لاحقًا على جائزة نوبل للفيزياء 1948- باتريك بلاكت (Patrick Blackett، 1897-1974)، الذي عمل تحت إشراف روذرفورد في كافندش في الفترة حتى عام 1924؛ ويكتب هذا التفاعل على الشكل:

$$\alpha + 14N \rightarrow 17O + 1H$$

أي يصطدم جسيم ألفا α بذرة النتروجين 14N (في الواقع بنواة الذرة) فتتحول الأخيرة إلى ذرة نظير عنصر الأكسجين 17O مع خروج ذرة هيدروجين العادي، والأدق أيون ذرة هيدروجين العادي.

نتيجةً لتجاربه أكد روذرفورد أن أيون (وهو نواة) الهيدروجين موجود في أنوية ذرات كل العناصر كمكوّن أساسي أولي للنواة، وفي اجتماع الجمعية البريطانية لتقدم العلوم British Association for the Advancement of Science في أغسطس 1920 اقترح مصطلح بروتون لهذا الجسيم الأولي، مسترشدًا بالكلمة الإغريقية «πρῶτον» ومعناها «الأول».

وها نحن أمام ثاني العظماء الثلاثة، وثاني الجسيمات الأولية حتى

اكتشاف الكوارك فهو مكوّن أساسي رئيس لذرات كل العناصر، جسيم مستقر stable لا يتحلل decay أو يتحول إلى جسيمات أخري؛ وكتلته

$$1.67262 \times 10^{-24}$$

جرام، وشحنته الكهربائية الموجبة تساوي بالمقدار شحنة الإلكترون

$$1.602 \times 10^{-1}$$

C كولوم، ويرمز له بالرمز p.

وبالتالي تُكتب معادلة أول تفاعل نووي في التاريخ على النحو التالي:

$$\alpha + 14N \rightarrow 17O + p$$

***

1-3 النيوترون

حتى 1932 كان العلماء يعتقدون أن ذرة أي عنصر تتركب من إلكترونات سالبة الشحنة، وعددها هو العدد الذري للعنصر (Z)، تدور حول النواة موجبة الشحنة، وتساوي شحنتها بالمقدار مجموع شحنة إلكترونات المدارات (+Ze)، وبذلك تكون ذرة العنصر في الحالة العادية متعادلة كهربائيًا، وتشغل النواة حيزا جد صغير في مركز الذرة، فقطرها أصغر من قطر الذرة (100.000) مائة ألف مرة (كحبة عدس في ميدان التحرير)، ومع ذلك تحتوي على أكثر من 99.9% من كتلة الذرة؛ وانطلاقًا من أن الوزن الذري لأي عنصر عبارة عن مضاعفات صحيحة للوزن الذري للهيدروجين، أي كتلة ذرة العنصر عبارة عن مضاعفات صحيحة لكتلة ذرة الهيدروجين، اعتقد العلماء أن النواة موجبة الشحنة (+Ze) تتكون من Z أيون هيدروجين (Z بروتون) وعدد من ذرات الهيدروجين المتعادلة كهربيًا، فمثلًا تتكون نواة ذرة النيتروجين 14N (من التفاعل في نهاية الفصل السابق) من 7 بروتونات (أيونات هيدروجين) و7 ذرات هيدروجين بإلكتروناتها الـ7، أي تتكون النواة من بروتونات وإلكترونات «نووية».

ولكن نتيجةً البحوث المكثفة في العقود الثلاث الأولى للقرن العشرين، في مجال الأطياف الذرية، وعند دراسة البنية فائقة الدقة لهذه الأطياف، ازدادت شكوك العلماء في تواجد «الإلكترونات النووية»؛ كما أن التجارب التي تدرس اعتماد خطوط الطيف الجزيئي Molecular Spectrum على مستويات الطاقة التي تشغلها أنوية

ذرات الجزيء أعطت نتائج تؤكد استحالة تواجد الكترونات داخل الأنوية، مثلا أكد الفيزيائي الهندي السير شاندراشِخارا ف. رامان (Sir Chandrashekhara V. Raman، 1888-1970؛ حاصل على جائزة نوبل للفيزياء 1930 عن إنجازاته في دراسة الظواهر الضوئية) علي أن أطياف جزيء النتروجين المزدوج تثبت أن عدد الجسيمات المكونة لنواة النتروجين لا يمكن أن يكون فرديًا، 14 بروتون زائد 7 إلكترون، بل لا بد أن يكون زوجيًا؛ كما أن دراسة أشعة بيتا المنبعثة من النواة أكدت وفقًا لميكانيكا الكم Quantum Mechanics (العلم الحديث عندئذ) ووفقًا لقيم طاقتها أنها لا يمكن أن تكون موجودة بشكل «جاهز» داخل النواة، وإلا لكانت قيم طاقتها أعلى بعشرات المرات من القيم الفعلية.

في عام 1930، وجد العالم الألماني فالتر بوتيه (Walther Bothe، 1891-1957، الحاصل على نصف جائزة نوبل للفيزياء لعام 1954 عن إنجازاته في الدراسات الإحصائية للدالة الموجية للذرة)؛ أنه عندما تسقط جسيمات ألفا عالية الطاقة المنبعثة من البولونيوم على العناصر الخفيفة، مثل البريليوم (9Be)، والبورون (11B)، والليثيوم (7Li) ينتج إشعاع ذو قدرة اختراق شديدة، ووجد أن هذا الإشعاع الناتج لا يتأثر -مثل إشعاع ألفا- بالمجال الكهربائي، أي أنه لا يحمل شحنة كهربائية، فاعتقد أن هذا الإشعاع عبارة عن أشعة جاما المعروفة آنذاك والتي كانت تُدرّس بشكل مكثف مع أشعة ألفا وأشعة بيتا لمدة تزيد عن 3 عقود منذ اكتشاف النشاط الإشعاعي، وهكذا ساد الاعتقاد بأن

هذا الإشعاع عبارة عن أشعة موجية مثل أشعة جاما.

في 1932 قام العالم الإنجليزي تشادويك (Sir James Chadwick، 1891-1974) بإجراء تجربته الشهيرة كالتالي، استخدم مصدر البولونيوم للحصول على أشعة ألفا بطاقة عالية؛ إذ إن طاقة جسيمات ألفا المنبعثة من البولونيوم (العنصر المشع الذي اكتشفته ماري كوري(7) مع زوجها بيير عام 1898) تزيد قليلًا عن 5.3 م.إ.ف.(8)، ووجّه تشادويك هذه الأشعة إلى شريحة رقيقة من البريليوم، فحصل على ذلك الإشعاع غير المشحون مثل بوتيه، وعندما ضرب بهذا الإشعاع -غير المعروف طبيعته- شمعَ البارافين الغني بالهيدروجين- نتجت البروتونات، وتم الكشف عنها باستخدام غرفة تأين (Ionization Chamber: نوع من الكواشف Detectors) صغيرة، وظن العلماء أن هذه العملية تتم كما يحدث في ظاهرة كومبتون، عندما يصدم فوتون أشعة رونتجن (المشتهرة بأشعة إكس) أحد إلكترونات الذرة شبه الحرة، ويعطيه جزءًا من طاقته فينطلق الإلكترون حاملًا طاقة حركة ويتشتت الفوتون بطاقة أقل مما كان لديه قبل التصادم أي بطول موجة أكبر، إلا أن طاقة هذا الشعاع لا بد وأن تكون حوالي 50 م.إ.ف. لتطرد بروتونا من الشمع بطاقة تصل إلى 5 م.إ.ف.، ولا يسمح قانون بقاء الطاقة في تجربة تشادويك بذلك؛ وبعد مناقشات مع زملائه العلماء الباحثين فى معامل كافنديش [انظر شكل 5] بجامعة كامبريدج –خاصة مع روذرفورد- اقترح تشادويك أن هذه الأشعة المجهولة ليست موجية بل جسيمية، أي أن هذا الإشعاع

عبارة عن سيل من جسيمات عديمة الشحنة الكهربائية، وأن كتلة الجسيم منها قريبة من كتلة البروتون، لذا عندما تصطدم جسيمات هذا الإشعاع مع البروتونات (أنوية ذرات الهيدروجين في البارافين) يمكنها أن تمنحها قدرًا كبيرًا من طاقتها الحركية قد يصل إلى كل الطاقة الحركية، كما يحدث عند تصادم كرات «البلياردو»، وأطلق اسم «نيوترون neutron» على جسيم هذا الإشعاع.

(7) ماري كوري (Marie Curie ، 1867-1934) بولندية الأصل باسم ماريا سكلودوفسكايا، فرنسية بالزواج من بيير كوري، حصلت مع زوجها ومع هنري بكريل على جائزة نوبل للفيزياء 1903 عن الأبحاث في مجال النشاط الإشعاعي وكانت أول امرأة تحصل على «نوبل»، وحصلت على جائزة نوبل للكيمياء 1911 عن انتاج الراديوم واكتشاف عنصر جديد سُمِّيَ «البولونيوم» على شرف وطنها الأم، وهي الوحيدة (نساءً ورجالًا) الحاصلة على «نوبل» في علمين مختلفين.

(8) تقاس الطاقة في ميكانيكا الأجسام العادية وفي علم الحرارة بالإرج والجول والسعر (الكالوري)، أما في الفيزياء الذرية والنووية فتقاس بوحدات «إلكترون فولت» (إ.ف.) ومضاعفاتها، والإلكترون فولت هو كمية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون عند تعجيله بمجال كهربائي بفرق جهد 1فولت، ويساوي 1.6 **19-** X 10 جول = 3.82 **20-** X 10 كالوري؛ ومنه كيلو إلكترون فولت (ك.إ.ف.) وهو 1000 إ.ف.، و م.إ.ف.= مليون إ.ف. ..وهكذا.

منذ اكتشاف النيوترون اعتقد العلماء أن كتلته قريبة من كتلة البروتون وأكبر قليلًا منها، وفي 1935 قام تشادويك بمساعدة تلميذه النمساوي الأميركي جولدهابر بأول تجربة لتعيين كتلة النيوترون بدقة، ذلك باستخدام أشعة جاما بطاقة 2.6 م.إ.ف من نظير الثاليوم

المشع لتفكيك الديوترون (نواة الهيدوجين الثقيل)، وحصلا على قيم لكتلة النيوترون في النطاق (1.67549 -1.67449)×27-10 كجم؛ ومنذ منتصف القرن العشرين أُجريت العديد من التجارب بغرض القياس الدقيق لكتلة النيوترون، ولأن النيوترون لا يحمل شحنة كهربائية، لذا لا يمكن تعيين كتلته مباشرة بواسطة المطياف الكتلي mass spectrometer، لذا تم تحديد كتلته بطرق غير مباشرة، مثلًا بدراسة تكوّن الديوترون عندما يصطاد بروتونٌ نيوترونًا، ذلك بقياس كتلة الديوترون وطاقة ربط هذه النواة التي تتكون من بروتون ونيوترون، وكتلة البروتون (نواة الهيدروجين الخفيف العادي)، وطاقة ارتداد الديوترون، ومع تحسين التجارب وتدقيق الحسابات فإن القيمة المعتمدة حاليًا لكتلة النيوترون هي 1.67493×27-10 كجم.

حصل تشادويك على جائزة نوبل للفيزياء للعام 1935 عن اكتشاف النيوترون، وقد كانت مسيرة هذا العالم غنية بالأحداث الجسام، علميًا واجتماعيًا ووظيفيًا، فبعد تخرجه في جامعة مانشستر الإنجليزية تتلمذ على روذرفورد وحصل على الماجستير في 1913، ثم سافر إلى برلين لمواصلة الدراسة تحت إشراف الفيزيائي الألماني جايجر، واحد من أشهر المتخصصين في دراسة نواتج النشاط الإشعاعي ومخترع أشهر أنواع كواشف الإشعاع وأكثرها انتشارًا حتى الآن (عداد جايجر)، وعند بداية الحرب العالمية الأولى (1919-1914) اعتقل تشادويك وقضى سنوات الحرب في السجن الألماني؛ بعد الحرب عاد إلى إنجلترا حيث انضم إلى مجموعة روذرفورد العلمية، بعد حصوله

على جائزة نوبل تم تكريمه بلقب سير/فارس؛ وفي 1940 ومع اشتداد لهيب الحرب العالمية الثانية (1945-1939) أصبح عضوًا مهمًا في لجنة «ماود» MAUD Committee المعنية بدراسة جدوى القنبلة «الذرية» (الأدق: النووية الانشطارية)، وعن هذه المهمة كتب تشادويك لاحقًا إنه أدرك «أن القنبلة النووية لم تكن ممكنة فحسب، بل كانت حتمية وكان علي أن أتناول الحبوب المنومة، كان هذا هو العلاج الوحيد» لوصف القلق الذي أصابه عند إدراك القوة التدميرية الهائلة لهذه القنبلة؛ ومنذ 1943 أصبح على رأس البعثة البريطانية إلى لوس ألاموس الأميركية، المقر الرئيس لمشروع مانهاتن لتصنيع القنبلة «الذرية»، وكان طوال تواجده هناك على علاقة وثيقة بالجنرال جروفس Leslie Groves المدير الإداري لمشروع مانهاتن.

ارتبط النيوترون -منذ اكتشافه- بظاهرتي التنشيط الإشعاعي للعناصر Neutron Activation والانشطار النووي Nuclear Fission؛ بما أن النيوترون متعادل الشحنة الكهربائية، فإنه لا يعاني مثل جسيمات ألفا أو البروتونات المشحونة موجبًا من القوة الطاردة عن النواة موجبة الشحنة، لذا يتمكن النيوترون من الاقتراب الشديد من النواة، بل وقد يلتصق بها نتيجة القوى النووية الشديدة التي تربط مكونات النواة من بروتونات ونيوترونات، ولنتذكر هنا أن قطر النواة أصغر من قطر الذرة بمائة ألف مرة، وتقاس عادة بالفمتومتر (1fm=10-15m).

عند تعريض بعض العناصر لسيل من النيوترونات، تُصطاد بعض

النيوترونات بأنوية هذه العناصر فيتحول العنصر إلى نظير آخر أثقل لنفس العنصر له نفس الخصائص الذرية، أي نفس الخصائص الكيميائية والكهربائية، ولكن بخصائص نووية مختلفة، فقد يصبح ذا نشاط إشعاعي، مثلما يحدث عند تعريض الكوبالت الطبيعي كوبالت59- لسيل من النيوترونات فإن عدد كبير من ذراته يتحول إلى ذرات النظير المشع كوبالت60-، ذلك وفقًا للمعادلة

$$^{59}Co + n \rightarrow {}^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni + e^- + \tilde{\nu}_e + \gamma$$

حيث 59Co نواة ذرة الكوبالت59- الطبيعي، وn النيوترون الملتحق بها، و 60Co نواة ذرة الكوبالت60- النظير النشط إشعاعيًا، الذي يتحلل إلى النيكل60- باعثًا جسيم بيتا (إلكترون e−)، وأنتي-نيوترينو



، وأشعة جاما γ؛ وهكذا أصبح النيوترون أداة مهمة لتصنيع النظائر المشعة المستخدمة بكثرة ونجاح في مجالات متعددة في الطب والصناعة والزراعة وغيرها، كما أصبحت الفيزياء النيوترونية أداة رائعة في البحوث الخاصة بالقوى النووية، ولفهم بنية المادة بشكل عام.

وبالنسبة لاستخدام النيوترونات في الانشطار النووي فإن أنوية

بعض الذرات الثقيلة تتميز بقابليتها للانشطار عندما تصطاد نيوترونًا، وفي الطبيعة يوجد فقط عنصران لأنوية ذراتها قابلية لمثل هذا الانشطار، وهما الثوريوم واليورانيوم، ويصاحب عملية الانشطار تحرر كمية من الطاقة الحركية التي تتحول إلى طاقة حرارية، مثلًا عندما تصطاد نواة نظير اليورانيوم235- الطبيعي المشع نيوترونًا بطيئًا فإنها تنشطر إلى شظيتين (نويديتين) مثل نويدة الباريوم141- ونويدة الكريبتون92-مطلقةً 3 نيوترونات و200 م.إ.ف. من الطاقة،

$$235U + n \rightarrow 141Ba + 92Kr + 3n$$

ويمكن أن يحث كلٌ من نيوترونات الانشطار انشطارًا جديدًا لنواة يورانيوم أخرى وهكذا، وباستخدام عدة كيلوجرامات من الوقود الانشطاري (كاليورانيوم أو البلوتونيوم) يمكن الحصول على كميات هائلة من الطاقة، إما لسنوات طويلة بمعدل معقول من مئات الميجاوات وحتى ألفي ميجاوات كما في مفاعلات القوى لتوليد الكهرباء تحت سيطرة المشغلين، وإما في جزء من الثانية بالتفجير الانشطاري النووي للقنبلة «الذرية» بقوة مدمرة تماثل عشرات آلاف الأطنان من مادة TNT.

ومع ذلك فإن النيوترون يكاد أن يفقد مركزه كجسيم أولي مستقر؛ إذ إنه يحافظ على استقراره المستمر فقط داخل النواة، أما خارج النواة فـ«يعيش» النيوترون الحر في المتوسط 1000 ثانية (16.8 دقيقة) ويتحلل متحولًا إلى بروتون وإلكترون وأنتي-نيوترينو، ولكن النيوترون يظل أحد العظماء الثلاثة، أحد الجسيمات الأولية الثلاثة

المكوّنة لذرات كل عناصر الطبيعة [انظر شكل 6].

الباب الثاني

الجسيمات الأولية للمادة المضادة واللبتونات

مع الدراسة الكثيفة الجادة للأشعة الكونية، بدأ اكتشاف جسيمات أولية ليست ضمن المكونات الثلاثة لذرات العناصر «الأرضية»، كما أن البحوث في مجالات النشاط الإشعاعي أدت إلى اكتشاف جسيمات أولية غير متواجدة بشكل «جاهز» في هذه الذرات.

لقد بدأ أكتشاف جسيمات اولية جديدة، إلى جانب «العظماء الثلاثة، التي تتكون منها كل ذرات العناصر منذ بداية العقد الرابع للقرن العشرين، مع الدراسة المتعمقة والمكثفة لظاهرة النشاط الإشعاعي وللأشعة الكونية Cosmic Rays، وسيتم تناول ذلك بالتفصيل في البابين الثاني والثالث.

2-1 البوزيترون

شغل البوزيترون المركز الأول تاريخيًا بين الجسيمات الأولية الجديدة خارج التركيب الذري، وكان عالم الفيزياء النظرية باول ديراك(9) أول من أشار إلى احتمال وجوده، وقد أكد ديراك أنه انطلاقًا من نظرية النسبية العامة لأينشتاين فإن لكل جسيم particle في الطبيعة ضديد anti-particle مقابل له نفس الكتلة ولكن بشحنة كهربائية معاكسة، وقد نشر ديراك عام 1928 واحدًا من أهم أبحاثه: المعادلة الموجية النسبوية للإلكترون the relativistic wave equation for the electron، وعرض فكرته عن أن ثقب hole أو «تواجد سلبي» في الطيف الإلكتروني المستمر continues electronic spectrum يمكن اعتباره ضديد إلكترون anti-electron، وسيتصرف ويتجاوب مثل هذا الثقب كجسيم موجب الشحنة من جسيمات المادة المضادة anti-matter، ثم توصل عام 1931 إلى ان نظريته التي تعني –بحسب تعبيره- وجود «نوع جديد من الجسيمات، غير معروف للفيزياء التجريبية، ولديه نفس كتلة لإلكترون والشحنة المضادة لشحنة الإلكترون»، وفعلًا لم تمر أكثر من سنة حتى اكتشف الفيزيائي الأميركي أندرسون تجريبيًا هذا الجسيم الذي سمِّيَ لاحقًا: البوزيترون.

(9) ديراك عالم موسوعي إنجليزي (1980 - 1902) عمل في مجالات فيزياء الكم والفيزياء الذرية والفيزياء الاحصائية وفيزياء الجسيمات الأولية، حصل على جائزة نوبل للفيزياء عام 1933 مع عالم فيزياء الكم النمساوي شرودنجر

عن «اكتشاف أشكال مثمرة جديدة للنظرية الذرية the discovery of new productive forms of atomic theory».

في معامل «كالتك»(10) طور أندرسون تصميمًا جديدًا من الغرفة السحابية Cloud Chamber، وهي نوع من الكواشف التي تسجل الأشعة المؤيِّنة. تضم غرفة أندرسون مكبسًا يمكنه من خفض الضغط داخلها بسرعة كبيرة، كما استخدم مزيجًا من الماء والكحول في الغرفة لتشكيل المسار السحابي بطول أثر حركة جسيم الشعاع، فحصل على صور أفضل كثيرًا ممن سبقوه [انظر شكل 7]، وأحاط الغرفة بمغناطيس كهربائي كبير، حتى تنحرف مسارات حركة الجسيمات المؤيِّنة إلى مسارات مقوسة، وبقياس انحناء وطول تلك المسارات، تمكن من حساب كمية تحرك momentum الجسيم وتحديد نوع شحنته؛ وقد وجد أندرسون ضمن الأشعة الكونية، التي كان يدرسها بواسطة كاشفه، زخات من الجسيمات موجبة الشحنة الكهربائية، وإن شحنة الجسيم منها تساوي بالقيمة شحنة الإلكترون، ولكنها وفقًا لطول المسار وانحنائه لا يمكن أن تكون بروتونات؛ وفي أغسطس 1932، سجل أندرسون الصورة التاريخية لـ «إلكترون موجب الشحنة»؛ ولم يطلق أندرسون تسمية «بوزيترون positron» على هذا الجسيم الأولي الجديد، بل كانت هيئة تحرير الدورية العلمية «المجلة الفيزيائية Physical Review» التي نشر فيها ورقة بحثه، هي التي صاغت هذا المصطلح، بالطبع من نصفي كلمتيّ «positive: موجب وelectron»؛ وقد حصل أندرسون على نصف جائزة نوبل للفيزياء عام 1936 عن اكتشاف البوزيترون.

(10) كالتك Caltech: California Institute of Technology أحد أشهر المعاهد العلمية في العالم، تأسس عام 1891 في باسندا ضاحية لوس أنجلوس بولاية كاليفورنيا الأميركية، حصد أساتذته وباحثوه علي 73 جائزة نوبل، وهو معهد خاص، ماليًا مؤسسة «لا تهدف للربح»، يعتمد علي الهبات والأوقاف التي يتبرع بها رجال الأعمال والأهالي، والتي بلغت في 2017 حوالي 2.7 بليون دولار.

وفي 1933 كان الفيزيائي البريطاني بلاكيت يدرس بمساعدة الباحث الإيطالي الزائر أوكيليني Occhialini Giuseppe الأشعة الكونية، ذلك في معامل كافندش بحامعة كامبردج («محل ميلاد العظماء الثلاثة» كما أشرنا سابقًا) فاكتشف أربعة عشر مسارًا مزدوجًا متعاكسا الاتجاه، تأكد فيما بعد أنهما (زوج المسارين) يعودان لإنتاج زوج البوزيترون / الإلكترون.

تكافؤ الكتلة والطاقة:

يظهر مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة جليًا في عمليتيَ فناء الإلكترون مع البوزيترون وإنتاج الأزواج؛ وفي الفيزياء، «الفناء annihilation» هو التفاعل الذي يصطدم فيها الجسيم وضديده ويختفيان، ويطلقان كمية من الطاقة؛ ويحدث الفناء الأكثر شيوعًا على الأرض بين الإلكترون وجسيمه المضاد البوزيترون، ويجتمعان عادةً لفترة وجيزة لتشكيل «شبه ذرة» تسمى «البوزيترونيوم positronium»، وتتكون شبه الذرة هذه من الجسيمين اللذان يدوران حول بعضهما البعض قبل فنائهما، وبعد الفناء، ينشأ فوتونان (ونادرًا، 3 فوتونات) أشعةِ جاما

من نقطة التصادم. وتساوي كمية الطاقة (E) الناتجة عن الفناء الكتلة (m) التي تختفي مضروبة في مربع سرعة الضوء في الفراغ (c)، أي E = mc2. وهكذا، يعطينا الفناء مثالًا على تكافؤ الكتلة والطاقة وتأكيدًا لنظرية النسبية الخاصة لأينشتاين.

أما المثال العكسي لتكافؤ الكتلة والطاقة فهو عملية «إنتاج الزوج pair production» المشار إليها في الحديث عن أبحاث بلاكيت وأوكيليني؛ وإنتاج الزوج هو تشكيل أو تجسيد إلكترون وبوزيترون من كمّ (أو نبضة) طاقة كهرومغناطيسية، عادة في محيط جسيم (في الغالب نواة ذرة)، أي يحدث تحويل مباشر للطاقة المشعة إلى المادة، وهي إحدى الطرق الرئيسة لتفاعل أشعة جاما عالية الطاقة مع المادة، وبالتالي إحدى الطرق الرئيسة التي يتم بها امتصاص أشعة جاما عالية الطاقة في المادة؛ ولكي يحدث إنتاج الزوج يجب أن تكون طاقة فوتون جاما مكافئة على الأقل لكتلة إلكترونين، ولما كانت كتلة الإلكترون الواحد تعادل 0.51 م.إ.ف. (MeV)، فيجب أن تكون طاقة الفوتون 1.02 م.إ.ف. على الأقل، وتتحول كمية الطاقة التي تزيد عن هذا المقدار إلى طاقة حركة لزوج الإلكترون-البوزيترون، وعند دراسة هذه الظاهرة بكاشف مثل الغرفة السحابية، مع تسليط مجال مغناطيسي مناسب، فإن منحنيي مساري الإلكترون والبوزيترون يكونان على شكل قوسين متساويين الانحناء في اتجاهين متعاكسين، يبدآن عند نقطة تكوين الزوج؛ وبهذه الطريقة تم اكتشاف إنتاج الزوج لأول مرة عام 1933 كما سبق ذكره.

البوزيترون أول الجسيمات الأولية للمادة المضادة:

باكتشاف البوزترون، أول جسيم مضاد antiparticle يتم اكتشافه، وُلِد فرع جديد في الفيزياء خاص بالمادة المضادة antimatter علي يد أندرسون وبلاكيت، وهو فرع من أروع فروع الفيزياء وأكثرها تكلفةً. وجدير بالذكر أنه قد تم اكتشاف (وقد يُقال تخليق creation) الـ «أنتي-بروتون anti-proton» في جامعة كاليفورنيا/بيركلي عام 1955، وفي العام التالي جاء دور الـ «أنتي-نيوترون anti-neutron»، واستمرت الأبحاث في هذا المجال حتى استطاع علماء معهد البحوث النووية الأوروبي CERN في سويسرا في عام 1995 أن يركبوا 9 ذرات أنتي-هيدروجين مضادة Hydrogen anti-atoms استمرت في التواجد حوالي 40 نانوثانية.

ومن المثير للاهتمام أن البوزترون قد وجد تطبيقًا مفيدًا ومهما في الطب، هو التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني (PET: positron emission tomography)، حيث تُستخدم هذه التقنيةُ في الحصول على صور ثلاثية الأبعاد للعمليات التي تتم داخل العضو البشري وحتى داخل الدماغ (المخ)، ذلك بحقن مادة ذات نشاط إشعاعي +β (من النوع بيتا الموجب مثل الفلورين18 18F-) في العضو المريض، ثم يتم تَتَبُّع أزواج أشعة جاما الناتجة عن فناء البوزيترونات مع الإلكترونات.

2-2 النيوترينو

في حالة تحلل ألفا (α-decay) عندما يبعث عنصر نشط إشعاع ألفا تتحول النواة النشطة (النواة الأم Mother Nucleus) إلى نواة أخرى (النواة البنت Daughter Nucleus) عددها الكتلي أقل بأربعة وعددها الذري أقل باثنين، ونجد أن طيف هذه الأشعة عبارة عن خط واحد بقيمة محددة للطاقة يُسمَّى طيف وحيد الطاقة mono-energetic spectrum، أو خطوط متقطعة لكل خط منها طاقة محددة أي طيف متقطع discrete spectrum ذلك عندما تتكون أنوية الناتج في حالات مختلفة التماسك (أي حالات ذات قيم مختلفة لطاقة الربط النووية nuclear binding energy)، ودائما تساوي كتلة النواة الأم حاصل جمع كتلة النواة البنت وكتلة جسيم α وطاقة حركته (وطاقة حركة ارتداد النواة البنت التي تهمل عادةً؛ لأنها أقل بمئات المرات)؛ وفي حالة تحلل جاما (γ decay) يتحقق كذلك قانون بقاء الطاقة (مع الكتلة) حيث نجد أن كتلة النواة الأم تساوي حاصل جمع كتلة النواة البنت وطاقة فوتون γ لكل خط من خطوط جاما في طيف أشعة جاما المتقطع (ذلك بالإضافة إلى طاقة حركة ارتداد النواة البنت التي تهمل عادةً؛ لأنها أقل بمئات ألوف المرات).

ويختلف الأمر جذريًا في حالة تحلل بيتا، وفي حالة تحلل بيتا السالب (β-decay) عندما تتحول النواة النشطة إلى نواة أخرى لديها نفس عدد النيوكلونات ولكن أحد النيترونات بعث إلكترونًا وتحول إلى بروتون أي ازداد العدد الذري بواحد (من Z إلى Z+1)، ويعتبر تحلل

الكربون 14 واحدًا من أشهر أمثلة ذلك حيث يتواجد نظير الكربون 14 (6 بروتون و 8 نيترون) في الغلاف الجوى مع الكربون(11) العادي بنسبة 1 جزء من التريليون (ppt : part per trillion)، وتبعث أنوية هذا النظير بأشعة بيتا -β متحولةً إلى نواة نتروجين (7 بروتون و 7 نيترون) بعمر نصف 5730 سنة، ولكن نجد أن طيف الطاقة لجسيمات -β المنبعثة في هذا التحلل (كما في كل عمليات تحلل بيتا الأخرى) طيف مستمر(12) continuous spectrum بمعنى أن قيم طاقة جسيمات β (الإلكترونات) المنبعثة من العينة المشعة تتوزع بين قيمة صغيرة وحتى قيمة قصوى تُسمَّى طاقة نقطة النهاية end point energy، وفي مثال الكربون14- تساوي هذه القيمة 156 كيلو إلكترون فولت (ك.إ.ف.)، ووجد العلماء أن قانون بقاء الطاقة (مع الكتلة) يتحقق فقط لطاقة نقطة النهاية، أي أن كتلة النواة الأم (14C في مثالنا) تساوي مجموع كتلة النواة البنت (نيتروجين14 : 14N-) وكتلة الإلكترون والطاقة القصوى لحركته، أما بالنسبة للغالبية الساحقة من الإلكترونات المنبعثة تكون طاقة الإلكترون أقل كثيرًا وتُفقد كمية طاقة بشكل غير مفهوم، ولا يتحقق هذا القانون العام Universal Law الذي يحكم كل عمليات الطبيعة، وبعد مراجعة النتائج والتحقق منها وقع الفيزيائيون في حيرة شديدة بل أصابهم الهلع من احتمال انهيار أحد أهم الأعمدة (ان لم يكن الأهم) التي يقوم عليها علم الفيزياء بل وكل العلوم الطبيعية الأخرى، وأطلق على هذه الإشكالية اسم «كارثة بيتا β Catastrophe»، واستمرت حيرة العلماء عقدين

حتى بدأت تتبدد مع اقتراح عالم فيزياء الكم Quantum Physics نمساوي المولد السويسري باولي (1900-1958، جائزة نوبل للفيزياء 1945) عندما كتب خطابه الشهير في 1930 /4/12 إلى العالمة ليز ميتنر بادئًا بالكلمات: «السيدات والسادة الإشعاعيون الأعزاء... Dear Radioactive Ladies and Gentlemen...»، وفي الخطاب اقترح انبعاث جسيم جد صغير مع كل عملية تحلل بيتا يحمل فرق الطاقة «التائه» وأن هذا الجسيم صعب الاصطياد أو الاكتشاف، وازداد تفاؤل الفيزيائيين عندما وضع عالم الفيزياء الإيطالي فيرمي(13) نظرية متكاملة لتحلل بيتا عام 1934 وأطلق على الجسيم الذي اقترحه باولي منذ 4 أعوام اسم نيوترينو Neutrino ما يعني بالإيطالية «المتعادل الصغير» وأعطاه الرمز الإغريقي v (يُنطق: نيو)، ولسنوات طويلة لم يتمكن أحد من تسجيل (كشف) detect هذا الجسيم عمليًا، وفي عام 1942 قدم العالم الصيني وانج جان تشانج Wang Ganchang(أحد آباء البرنامج النووى السلمي والحربي للصين) اقتراحًا لتجربة عملية لكشف هذا «المراوغ» الصغير، ولم تُنفذ إلا بعد 14 - 13 عامًا، ففي سنة 1955 بدأ الفيزيائيان الأمريكيان فريدريك رينيس (Frederick Reines، 1918-1998) وكلايد كوان (1919-1974) في تجربتهما الشهيرة لاصطياد وتسجيل النيوترينو المنبعثة من المفاعل النووي «سافانا ريفر» في ولاية ساوث كارولينا [انظر شكل 8]، وبنيت تجربتهم على أساس اصطياد النيوترينو بواسطة بروتون في عملية عكسية لتحلل بيتا للنيترون الحر، ثم اصطياد النيترون الناتج وتسجيله، وصمما كاشفًا detector على شكل

إناء يحتوي على 200 لتر ماء (من أغنى المواد بالهيدروجين، وبالتالي بالبروتونات: أنوية ذرات الهيدروجين) مذاب فيها 40 كيلوجرام كلوريد الكادميوم (فالكادميوم من أفضل «صائدي» النيترونات) وحول الإناء 110 أنبوب تضاعف ضوئي PMT: Photo Multiplier Tube لتسجيل الومضات الناتجة، واستمرت التجربة لشهور للحصول على نتائج جيدة التوكيد، ومع نشر البحث في العدد 124 من مجلة «Science» في أواخر 1956 انزاح عن كاهل علماء الفيزياء النووية والفيزيائيين عموما همّ «كارثة بيتا»، واستعاد قانون بقاء الطاقة عرشه، وقد كوفئ رينيس على هذه التجربة - وعلى تأسيسه لفرع جديد في الفيزياء النووية هو فيزياء النيوترينو حيث عمل في هذا

المجال لعقود مؤسسًا مدرسة علمية قوية، كوفئ بجائزة نوبل للفيزياء لعام 1995 بعد 21 عام من وفاة زميله كوان؛ ولا بد من الإشارة إلى أن ما سجله رينيس وروان هو أنتينيوترينو وليس نيوترينو.

(11) يتكون الكربون الطبيعي (مثلًا في غاز ثاني أكسيد الكربون) من 3 نظائر بنسب حوالي: كربون-12 (99 %)،كربون-13 (1 %) وكربون-14 (1ppt) .

(12) في 1911 اكتشف الطيف المستمر لإلكترونات تحلل β العالمان النمساوية المولد سويدية الجنسية ليز ميتنر والكيميائي الألماني الفذ أوتو هان (جائزة نوبل للكيمياء 1944 عن اكتشاف الانشطار النووي!!).

(13) إنريكو فيرمى 1901 – 1954، جائزة نوبل للفيزياء 1938، دشن أول مفاعل انشطار نووي في شيكاغو 1944.

تسبح مجموعتنا الشمسية في «محيط» من النيوترينوات

«الإلكترونية»، ويسقط منها على سطح الأرض 65 مليار لكل سم2 في الثانية أي يمر خلال رأس الإنسان حوالي ألف مليار نيوترينو كل ثانية، وكتلة جسيم النيوترينو هذا أقل من 0.002% من كتلة الإلكترون، ولكنها لا تضرنا؛ إذ إن جسيمات النيوترينو تكاد لا تتفاعل مع المادة، وهذا هو سبب صعوبة كشفها وتسجيلها. وللمقارنة نتذكر أن مدى أشعة ألفا في الهواء لا يزيد عن 10 سم فخلال كل سنتيمتر يتفاعل جسيم α مئات ألوف المرات مع ذرات الهواء فاقدًا للطاقة، وتكفي ميكرونات من الألمونيوم لإيقاف أشعة بيتا، وبالنسبة لأشعة جاما شديدة النفاذية (مثلا بطاقة متوسطة حوالي 1 م. ا. ف.) فإن لوح رصاص بسمك حوالي 1 سم (أو ألمونيوم 4 سم) يمتص نصف الشدة -أي نصف عدد فوتونات الشعاع- ويمتص لوح ثان مماثل نصف النصف ولوح آخر نصف الربع...وهكذا حتى الامتصاص شبه الكامل ؛ أما بالنسبة لأشعة النيوترينو فكل المواد تكاد تكون شفافة، ووجد العلماء أن متوسط المسار الحر Mean Free Path لجسيم النيوترينو في الماء يبلغ حوالي 1017 × 1.7 متر، أي أن متوسط المسافة بين تفاعلين متتالين مع أنوية هيدروجين الماء (البروتونات) تبلغ حوالي 1017 × 1.7 متر، أي إذا تخيلنا محيطَ ماءٍ «لا نهائي» العمق فإن متوسط المسافة بين تفاعلين متتالين للنيوترينو مع أنوية هيدروجين مائِه ستكون حوالي 170 ترليون كيلومترا! ويبلغ هذا المقدار بالنسبة للرصاص حوالي 1016 × 1.5 متر، أي يبلغ متوسط المسافة بين تفاعلين متتالين للنيوترينو مع أنوية ذرات الرصاص حوالي 15 ترليون كيلومتر، ويمكن أن يخترق جسيم النيوترينو الكرة

الأرضية بالكامل ذهابًا وإيابًا عشرات مليارات المرات دون تفاعل !!
ومع ذلك –وكما سبق ذكره- يوجد فرع كامل من الفيزياء لدراسة هذه النيوترينوات «الأشباح» عمليًا ونظريًا بكل أنواعها، ومن أشهر المعامل التي تُدرس فيها النيوترينوات مرصد صدبري SNO: Sudbury Neutrino Observatory بالقرب من أونتاريو في كندا حيث يتركب الكاشف من صهريج يحتوي على 1000 طن من الماء الثقيل وحوله مئات من أنابيب التضاعف الضوئي، وكذلك الكاشف «أعجوبة» فيزياء الجسيمات الأولية «سوبر كاميوكاندي Super Kamiokande» [انظر شكل 9]، وهو عبارة عن صهريج من الصلب به 50 ألف طن من الماء عالي النقاوة موجود داخل منجم كاميوكا الياباني على عمق 1 كم والصهريج الأسطواني محاط بعدد 11 ألف من أنابيب التضاعف الضوئي!!

حتى الآن اكتشف العلماء ثلاثة أنواع(14) من النيوترينو هي النيوترينو «الإلكترونية» والنيوترينو «الميونة» و«النيوترينو «التاوية»، وسيتم تناولها في الفصول التالية.

(14) المصاحبة للعمليات التي تشترك فيها الجسيمات الأولية Elementary Particles الكونية، ميزونات μ (ميو) وجسيمات τ (تاو) والتي سيأتي ذكرها لاحقًا.

2-3 الميون واللبتونات

في عام 1935، قام عالم الفيزياء النظرية الياباني يوكاوا هيديكي Yukawa Hideki (1907-1981) بخطوة جريئة إذ اقترح جسيمًا جديدًا كناقل لقوة الربط النووية القوية strong binding nuclear force، كما يُعتبر الفوتون هو الناقل للقوى الكهرومغناطيسية؛ وبعد تأكيد توقعه واكتشاف الميزونات في عام 1947، حصل على جائزة نوبل للفيزياء عام 1949 «عن توقعه لوجود ميزونات على أساس أبحاثه النظرية في مجال القوى النووية for his prediction of the existence of mesons on the basis of theoretical work on nuclear forces».

أُكتشِف الميون كمكون جسيمي مهم ضمن «زخات» الأشعة الكونية في عام 1936 بواسطة الفيزيائيين الأمريكيين كارل د. أندرسون (مكتشف البوزترون، كما جاء في 3-1) وتلميذه في الدراسات العليا سيث ندرميير Seth Neddermeyer. انطلاقًا من قيمة كتلته التي وُجد أنها تبلغ 207 قدر كتلة الإلكترون، كان يُعتقد في البداية أنه الجسيم الذي تنبأ به الفيزيائي الياباني يوكاوا منذ عام لتفسير القوة النووية الشديدة التي تربط البروتونات والنيوترونات معًا في النواة الذرية؛ ولكن تأكد بعد ذلك عدم صحة هذه الفكرة، وأن الميون ليس هو الجسيم المسؤول عن القوى النووية، بل تأكد أنه ينتمي فعلًا إلى مجموعة اللبتون، من مجموعات الجسيمات دون الذرية subatomic particles؛ إذ إنه لا يتفاعل أبدًا مع النواة أو الجسيمات الأخرى من

خلال التفاعلات النووية القوية.

تسقط الميونات على سطح الأرض بمعدل يصل حوالي 10000 ميون لكل متر مربع في الدقيقة، وتنشأ كنتاج غير مباشر لتصادمات بعض جسيمات الأشعة الكونية مع جسيمات من الغلاف الجوي العلوي للأرض، فعندما يتفاعل بروتون الأشعة الكونية مع أنوية ذرات الغلاف الجوي العلوي تتكون البيونات pions (سيتم تناولها لاحقًا)، التي تتحلل خلال مسافة قصيرة نسبيًا (حوالي المتر) أساسًا إلى ميونات ونيوترينوات ميونية muon neutrinos، وتستمر في الحركة في نفس اتجاه البروتون الأصلي، بسرعة 0.9997 من سرعة الضوء؛

والميون نوعان سالب وموجب الشحنة الكهربائية μ^- و μ^+، ويعتبر الأول μ^- هو الجسيم الأولي «الأصلي»، في حين يعتبر الثاني μ^+ هو الجسيم المضاد، والميون غير مستقر نسبيًا، ومتوسط عمره 2.2 مايكروثانية، بعده يتحلل في مجال قوة ضعيفة weak force إلى إلكترون ونوعين من النيوترينوات، ويُكتب التحللان بالشكل التالي:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu \quad \text{و} \quad \mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$$

ونظرًا لأن الميونات ذات شحنة كهربائية، فإنها قبل أن تتحلل تتفاعل كهربائيًا مع الذرات، وتفقد طاقتها عن طريق نزع الإلكترونات من الذرات أي بتأيين الذرات؛ وعند السرعات العالية للجسيمات (تلك القريبة من سرعة الضوء)، تفقد الجسيمات الطاقة بكميات متتالية

صغيرة نسبيًا أثناء تأيينها للذرات، وبالتالي فإن الميونات الموجودة في الأشعة الكونية تتغلغل بعمق لآلاف الأمتار تحت سطح الأرض.

لا بد هنا أن نُذكِّر بأنواع القوى الأربعة المعروفة في الطبيعة، وهي بالترتيب من الأقوى للأضعف:

القوي النووية المسؤولة عن ترابط الجسيمات الأولية المكونة للنواة، وهي قوى قصيرة المدى، ويستغلها البشر سلميًا في توليد الطاقة، وعسكريًا في القنابل الانشطارية «الذرية» والقنابل الاندماجية الحرارية «الهيدروجينية»؛

القوي الكهرومغناطيسية بين الأجسام ذات الشحنة الكهربائية في السكون والحركة، وترتبط بها الموجات الكهرومغناطيسة من أطول موجات الراديو وحتي موجات أشعة رونتجن وأشعة جاما مرورًا بأشعة «الميكروويف» والحرارة والضوء؛

قوى التفاعل الضعيف Weak Interaction المرتبطة باضمحلالات (تحللات decays) بيتا والميزونات، وهي أيضا قوى قصيرة المدى؛

قوى الجاذبية بين الأجسام ذات الكتلة، وهي المسؤولة -مثلًا- عن ترابط المجموعة الشمسية، وتكون مهمة ومحسوسة للأجسام كبيرة الكتلة كالنجوم والكواكب، وترتبط بهذه القوى شديدة الضعف موجات الجاذبية التي تنشأ عند حدوث اضطرابات عنيفة، عند تصادم ثقبين أسودين مثلًا؛ إذ إن الثقب الأسود يتميز بكتلة هائلة الضخامة (مركزة في حجم متناهي الصغر) لدرجة أنه يجذب بعنف (أي «يمتص») كل ما

يقترب منه، حتي أشعة الضوء، ومن هنا التسمية: الثقب «الأسود».

بعد اكتشافه، كان الميون يُسمَّى ميو-ميزون µ-meson، للظن أنه «جسيم يوكافا» وله كتلة «وسطية»، فكلمة meso (µεσο) باليونانية تعني «في الوسط/بين»، كتلته أقل من كتلة البروتون وأكبر من كتلة الإلكترون؛ وبالدراسة الدقيقة المتعمقة اتضح أن الميوميزون ليس «ميزون نووي»، بل وكما سبق ذكره في بداية الفصل، اتضح أنه ينتمي إلى مجموعة أخرى من الجسيمات، مجموعة اللبتونات، واختفى مصطلح « ميو-ميزون» واستقر مصطلح «الميون».

الليبتونات هي الجسيمات دون الذرية التي تتفاعل بواسطة وتستجيب فقط للقوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة وقوة الجاذبية، ولا تتأثر بالقوي النووية القوية. وعندما يقال إن اللبتونات هي جسيمات أولية نعني أنه يبدو أنها لا تتركب من وحدات أصغر من المادة. يمكن أن تحمل اللبتونات وحدة شحنة كهربائية، أو تكون محايدة عديمة الشحنة؛ اللبتونات المشحونة هي الإلكترونات والميونات والتاو tau. كل نوع من هذه الأنواع له وحدة شحنة سالبة (مثل شحنة الإلكترون)، وكتلة مميزة؛ والإلكترون هو أخف اللبتونات، وتساوي كتلة الإلكترون 1/1840 فقط من كتلة البروتون، والميون أثقل بحوالي 200 مرة من الإلكترون، وتبلغ كتلة التاوون taun (أو جسيم تاو) ما يقرب من 3700 ضعف كتلة الإلكترون. ولكل لبتون مشحون شريك/مقابل محايد غير مشحون كهربائيًا مرتبط به يُسمَّى النيوترينو (من الإيطالية «المحايد الصغير»)، وهذا الجسيم عديم

الكتلة (والأدق أن كتلته صغيرة بدرجة لا نهائية، القيمة المعتمدة حتى الآن أقل من 2× 5-10 من كتلة الإلكترون)، وهذه الجسيمات هي النيوترينو الإلكترونية electron-neutrino، و النيوترينو الميونية muon-neutrino، والنيوترينو التاوية tau-neutrino. علاوة على ذلك، فإن لجميع اللبتونات، بما في ذلك النيوترينوات جسيمات مضادة تسمى أنتي-لبتونات antileptons؛ وكتلة الأنتي-لبتون مماثلة لكتلة اللبتون المقابل، ولكن بقيم معكوسة لكافة الخصائص الأخرى، مثل الشحنة الكهربائية والعدد الكمومي المغزلي spin quantum number.

اقترح وجود ثالث اللبتونات نظريًا أحد أساتذة الفيزياء في جامعة ستانفورد تايواني الأصل يانج-سو تساي، وفي منتصف السبعينات اكتشف تجريبيًا خلال دراسات تخليق جسيمات جديدة أثناء تصادمات الإلكترونات والبوزترونات المعجلة إلي قيم طاقة كبيرة، وتحلل الجسيمات الجديدة إلى ميونات وإلكترونات، ذلك في منتصف السبعينيات بواسطة فريق بحثي بقيادة عالم الفيزياء المهندس الكيميائي الأميركي مارتن بيرل (،Martin Lewis Perl 1927-2014) في معامل المعجلات الأميركية الشهيرة «س.ل.ا.س. SLAS: Stanford Linear Accelerator Center» في ستانفورد/ كاليفورنيا، وهو الجسيم تاو، وهو أثقل من الإلكترون 3447 مرة، وله شحنة الإلكترون السالبة؛ وهو غير مستقر، يبلغ متوسط عمره 10-13 × 2.9 ثانية، ويتحلل بسهولة عبر القوة الضعيفة إلى جسيمات أخرى

(ميونات وإلكترونات)، ويرتبط التاو، مثل الإلكترون، والميون ب، «لبتون» متعادل هو تاو نيوترينو، يتخلق عند تحلل جسيم تاو؛ وأطلق بيرل على الجسيم الجديد (اللبتون الثالث المشحون) مصطلح تاو أو تاون tau من الحرف اليوناني τ الذي يبدأ كلمة الثالث اليونانية τρίτος؛ وفي عام 2000 اكتشف العلماء في معامل معجل فيرمي الوطني Fermi Lab بالقرب من باتافيا في ولاية إلينوي الأميركية [انظر شكل 10] وجود الجسيم تاو نيوترينو؛ وقد حصل بيرل على جائزة نوبل للفيزياء عام 1995 عن «اكتشاف الجسيم دون الذري تاو discovery of the tau «subatomic particle.

السمة المميزة الأخرى للبتونات، بالإضافة إلى شحنتها وخصائصها الفيزيائية المعروفة، هي زخمها الزاوي الذاتي أو الدوران المغزلي spin؛ ووفقًا لقيمته يتم تصنيف اللبتونات ضمن مجموعة أكبر من الجسيمات دون الذرية، هي الفرميونات، والتي تتميز بقيم نصف عدد صحيح من دورانها المغزلي. كما يبدو أن قانون البقاء «اللبتوني» يحكم التفاعلات الجسيمية التي تشترك فيها لبتونات، أي يظل L «العدد اللبتوني Lepton Number»، وهو عدد اللبتونات مطروحًا منها عدد الأنتي-لبتونات، ثابتًا.

الباب الثالث

فيض من الجسيمات الأولية

منذ أن اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل النشاط الإشعاعي الطبيعي في 1896، عكف علماء الفيزياء والكيمياء على دراسة هذه الظاهرة وإجراء البحوث المكثفة في هذا المجال، وفي مجال النشاط الإشعاعي المُستحث (الصُنعي man-made) والتحولات والتفاعلات النووية المشار إليها في الباب الأول.

في عام 1909 استخدم القس الألماني ثيودور وولف مقياسًا كهربائيًا electrometer لقياس كمية الشحنة الكهربائية (معدل إنتاج الأيونات المشحونة) داخل حاوية مغلقة بإحكام، وأجرى قياساته عند

قاعدة وقمة برج إيفل، فوجد أن المعدل أكبر عند القمة؛ كما لاحظ باحثون آخرون أن إنتاج الشحنات بفعل الإشعاعات المُؤيِّنة حولنا يقل عند القياس تحت سطح الماء مع ازدياد العمق؛ وبالطبع أشارت هذه الشواهد إلى وجود أشعة مُؤيِّنة لا تصدر من «الأرض» بل من «أعلى» أي تأتي من مصادر أخرى غير النشاط الإشعاعي للأرض. أما الدراسة المنهجية الدقيقة فترتبط بالعالم النمساوي فكتور هيس Victor Hess (1883-1964)، جائزة نوبل للفيزياء مناصفة مع الأميركي أندرسون، كما سيأتي لاحقًا)، وقد بدأ من عام 1911 في دراسة هذه الإشعاعات بقياسات على ارتفاعات تصل إلى 5-6 كم، باستخدام المنطادات، وقد أطلق الفيزيائي الأميركي ميليكان في 1925 مصطلح

الأشعة الكونية عليها، وقد حصل هيس على نصف جائزة نوبل للفيزياء عام 1936 عن «اكتشاف الإشعاعات الكونية discovery of cosmic radiations».

3-1 البيون والميزونات

كما ذكرنا في بداية الفصل السابق، اقترح العالم الياباني يوكافا عام 1935 وجود جسيم ناقل للقوي النووية الشديدة، التي تربط مكونات النواة: البروتونات والنيوترونات، والتي تسمى معًا بالنيوكلونات nucleons ؛ واقترح أن لهذا الجسيم كتلة نهائية محددة، ليست صفرية كما للفوتون ناقل القوى الكهرومغناطيسية، كتلة تبلغ مئات أمثال كتلة الإلكترون. وقد انطلق يوكافا من خصائص القوى النووية، خاصة كونها شديدة القوة وقصيرة المدى؛ إذ إنها تُركز أكثر من 99.9% من كتلة الذرة في النواة، ذات القطر الأصغر 100 ألف مرة من قطر الذرة، ومن وجهة نظر الحجم يمكن تشبيه النواة في مركز الذرة بحبة عدس في وسط ميدان التحرير، ولو تصورنا أننا ملأنا ملعقة صغيرة «بالمادة النووية» فقط أي بالأنوية دون الإلكترونات ودون المسافات بين النواة والمدارات الإلكترونية ودون المسافات بين الذرات والجزيئات بعضها البعض، لبلغ وزن هذه الملعقة مليارات الأطنان. كما أنه لا بد وأن تكون القوى النووية بالغة الشدة حتي تعوض التنافر الكهربائي القوي بين البروتونات، النيوكلونات المشحونة موجبًا، والتي تمثل حوالي نصف عدد النيوكلونات في الأنوية، فهذه البروتونات متماثلة الشحنة وتتواجد على مسافات قصيرة تقدر بالفمتومتر (femtometer يساوي 1 fm = 1 × 10-15 m) وتكون قوة التنافر الكهربائي بين بروتونات النواة كبيرة القيمة وفقًا لقانون التربيع العكسي.

بعد التأكد من أن الجسيمات التي اكتشفها أندرسون وفريقه في عام 1936 ليست هي «جسيمات يوكافا»، استمر العلماء في البحوث للكشف عنها، حتى عام 1947 عندما تم العثور على أول ميزون حقيقي، وهو البيون المشحون، بواسطة فريق البحث المشترك متعدد الجنسيات لجامعة بريستول في إنجلترا، بقيادة الفيزيائي الإنجليزي سيسيل فرانك باول بالتعاون مع عالم الفيزياء التجريبية البرازيلي سيزار لاتيس، والفيزيائي الإيطالي جوزيبي أوشينياليني وآخرين، في أثناء دراستهم للجسيمات فائقة السرعة ضمن الأشعة الكونية، المصدر الوحيد المتاح حينئذ لمثل هذه الجسيمات، ذلك بتطبيق التقنية الجديدة التي طوروها للكشف عن الجسيمات باستخدام المستحلبات الفوتوغرافية(15) photographic emulsions، بوضع ألواح زجاجية مزودة بهذه المستحلبات لمدة طويلة في مواقع على ارتفاعات شاهقة، مثلًا على قمة ميدي دي بيجور (حوالي 3 كم) في سلسلة جبال البرانس الفرنسية قرب الحدود مع أسبانيا، وعلى قمة تشاكلتايا (حوالي 5.4 كم) في الجزء البوليفي من سلسلة جبال أنديز في أميركا الجنوبية، ثم دراسة آثار مسارات الجسيمات نفسها، وآثار الجسيمات نتاج تحلل الجسيمات الأصلية.

(15) أنشأ عالم الفيزياء المصري الكبير د.محمد عبد المقصود النادي معملا في قسم الفيزياء/كلية العلوم/جامعة القاهرة لدراسة الجسيمات الأولية بتقنية المستحلبات الفوتوغرافية، وأصبح المعمل مدرسةً عالمية يملأ «خريجوها» من أساتذة الفيزياء (التجريبية أو/والنظرية) الجامعات ومراكز البحوث المصرية والعربية والدولية.

وتم التعرف على البيون Pion المشحون لأول مرة، كما ذُكر سابقًا عام 1947، من خلال مسارات غير عادية في المستحلب على شكل خط «مزدوج طوليًا»، ثانيهما يشبه مسار الميون، وقد حدد الفريق خصائص هذه البيونات بأن كتلة كلٍ من البيون الموجب الشحنة π^+ والسالب الشحنة π^- تساوي 273.7 كتلة الإلكترون، وشحنة π^- تساوي شحنة الإلكترون أما شحنة π^+ فتساوي شحنة البوزترون، ويتحلل البيون المشحون أساسًا عن طريق تفاعل القوى الضعيفة weak force interaction وفقًا للمعادلتين:

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu \quad \text{و} \quad \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

أما ثالث البيونات وهو البيون $\pi 0$ المتعادل كهربائيًا فقد تأخر اكتشافه، ذلك لصعوبة تتبعه، لأنه لا يحمل شحنة كهربائية ولا يؤين ذرات المستحلب فلا يترك أثرًا مرئيًا بطول مساره، وقد كان هناك دلائل غير مؤكدة على وجوده وعلى تحلله إلى فوتونات جاما عالية الطاقة تكوِّن بدورها أزواج إلكترون-بوزترون، و تم الكشف عن $\pi 0$ بشكل قاطع في معامل معجل السيكلوترون بجامعة كاليفورنيا في عام 1950 من خلال تتبع تحلله إلى فوتونين، وفي وقت لاحق من نفس العام تم أيضًا تسجيله في تجارب منطاد الأشعة الكونية في جامعة بريستول بإنجلترا؛ ووجد العلماء أن كتلة $\pi 0$ أقل قليلًا من كتلة البيون المشحون وتبلغ 264.7 مثيلا لكتلة الإلكترون، وأن

متوسط عمره أقل كثيرًا من «أخويه» المشحونين إذ يبلغ

$$8.4 \times 10^{-17}$$

ثانية، يتحلل بعده إلي فوتونين جاما عن طريق القوة الكهرومغناطيسية.

ويعتبر البيون π0 هو «جسيم يوكافا» المعتمد، ناقل القوي النووية الشديدة بين النيوكلونات، حيث يبعث أحد نيوكلونات النواة بيون π0 ويمتصه نيوكلون آخر، وهكذا يتم الترابط القوي قصير المدى بين نيوكلونات النواة.

وجدير بالذكر أنه تم الكشف عام 2013 عن أشعة جاما المميزة الناشئة عن تحلل البايونات المحايدة π0 في بقايا السوبرنوفا (المستعرات)، مما يؤكد أن البايونات يتم إنتاجها بكثافة بعد نشوء المستعرات، على الأرجح مع تكوّن بروتونات عالية الطاقة تُكتشف لاحقا على الأرض ضمن الأشعة الكونية؛ ويشير هذا إلى الطبيعة النووية للقوى السائدة في النجوم (بما في ذلك الشمس، نجم مجموعتنا)، وفي المستعرات التي تُشكل إحدى مراحل حياة النجوم.

وقد حصل سيسيل فرانك باول (Cecil Powell، 1903-1969) على جائزة نوبل للفيزياء عام 1950 (العام التالي لحصول يوكافا مقترح البيون على الجائزة) عن « التقنية الفوتوغرافية لدراسة العمليات النووية؛ واكتشافاته الخاصة بالميزونات photographic method of studying nuclear processes; discoveries

.«concerning meons

مع تطوير المعجلات النووية عالية الطاقة تم معمليًا تخليق أكثر من 200 نوعا من الميزونات، وجميع الميزونات غير مستقرة، تتميز بأعمار life times تتراوح بين 8-10 ثانية إلى أقل من 22-10 ثانية؛ كما أنها تختلف اختلافًا كبيرًا في الكتلة، من 140 م.إ.ف. (16) (حوالي 280 مثيل كتلة الإلكترون) إلى ما يقرب من 10 جيجا إلكترون فولت (10 × 9+10 ev)، أكثر من 10 أضعاف كتلة البروتون أو النيوترون؛ ومن أهم هذه الميزونات نذكر كي-ميزون -K meson المكتشف عام 1947، وإيتا-ميزون η-meson المكتشف عام 1962، وأثقل الموزونات حتى اليوم أوبسلون ميزون Y-meson (Upsilon meson) المكتشف عام 1977، والميزونات الستة الثقيلة بي-ميزونات B-mesons التي لم تُكتشف تجريبيًا إلا عام 2010، وسنتناولها جميعًا في الباب التالي مع الحديث عن الكواركات .Quarks

(16) في فيزياء الجسيمات الأولية كثيرا ما نعبر عن الكتلة بوحدات الطاقة المقابلة وفقا لمعادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة E=mc2، مثلا تبلغ كتلة الإلكترون بهذه الوحدات (0.51 م.إ.ف.) .

***

3-2 البحث عن الجديد داخل قلب الذرة وفي المجرة وخارجها

بحلول أوائل الستينيات، كان قد تم العثور على أكثر من 30 «جسيمًا أساسيًا»، وبذلك نشأ فرع كبير ومهم من فروع الفيزياء هو فيزياء الجسيمات الأولية Elementary Particle physics، ويُسمَّى أحيانًا فيزياء الطاقة العالية High Energy Physics، ويُعنى هذا الفرع بدراسة الجسيمات دون الذرية الأساسية، أي دراسة الجسيمات التي تتكون منها ذرات المادة (والمادة المضادة)، والجسيمات التي تتركب منها مكونات الذرة إن وُجدت، والجسيمات الحاملة للتفاعلات الأساسية وفقًا لمعطيات نظرية المجال الكمي Quantum Field Theory؛ وعندما يتعامل مع جسيمات الإشعاع الكوني القادمة من شمسنا ومن الفضاء السحيق، من النجوم الأخرى في مجرتنا وخارجها، فإن هذا العلم يُعنى ببناء الكون من لحظة نشأته.

بالنسبة للجسيمات الأولية دون الذرية الثلاثة، فإن الإلكترون ما زال يحافظ على وضعه كجسيم أولي بالمعنى الكامل للمصطلح، لا يتحلل متحولًا إلى جسيمات أخري أصغر، ولا يتركب من مكونات أصغر، وعند تفاعله مع الجسيمات المشحونة يتبادل معها الفوتونات عديمة كتلة السكون zero rest mass؛ في حين لا ينطبق هذا على مكونيَ النواة، علي النيوكلونين، النيوترون متعادل الشحنة، والبروتون موجب الشحنة، الأول كما أشرنا في الباب الأول، يتحلل عندما يكون حرا

خارج التركيب النووي، والثاني يتبادل البيونات، ذات كتلة السكون التي تبلغ حوالي 200 مثيل كتلة الإلكترون، ذلك للترابط بالقوى النووية الشديدة قصيرة المدى، مع شركائه النيوكلونات المتعادلة (النيوترونات) وموجبة الشحنة (البروتونات) داخل النواة.

أما بالنسبة للجسيمات الأولية الآتية من خارج الكرة الأرضية، أو المولَّدة بواسطة المعجلات فهي كثيرة العدد، متعددة الخصائص؛ وقد اهتمت فيزياء الجسيمات الأولية بالأشعة الكونية طويلًا، خاصة قبل تطوير المعجلات النووية باهظة التكاليف، شديدة التعقيد تكنولوجيًا؛ ذلك لأنها كانت لعقود من الزمن المصدر الوحيد لتلك الجسيمات الأولية.

الأشعة الكونية:

يفرِّق العلماء بين نوعين من الأشعة الكونية [انظر شكل 11]، أشعة كونية أولية Primary Cosmic Rays :PCR وهي القادمة من الفضاء الخارجي، وهي جسيمات عالية السرعة، إما أنوية ذرية أو إلكترونات؛ وأشعة ثانويةSCR: Secondary Cosmic Rays وهي الناتجة عن تفاعل جسيمات الـ PCR مع الغلاف الجوي للأرض، كما يُسمَّى جزء الأشعة الكونية الأولية القادم من مجرتنا، مجرة درب التبانة Milky Way Galaxy، بالأشعة الكونية المجرِّية :GCR Galaxy Cosmic Rays؛ أما الأشعة الكونية من خارج مجرتنا فتتميز عادة بقيم طاقة عالية أو عالية للغاية.

إن جسيمات وفوتونات الأشعة الكونية التي يتم رصدها على مستوى سطح البحر هي الأشعة الثانوية التي تتكون نتيجة تصادمات جسيمات الأشعة الكونية الأولية مع أنوية ذرات الغلاف الجوي للأرض، أما جسيمات الأشعة الكونية الأولية فيتم رصدها باستخدام المركبات الفضائية أو المنطادات عالية الارتفاع كما جاء في مقدمة هذا الباب.

تتميز جل جسيمات الأشعة الكونية المجرّية بقيم طاقة مرتفعة، تبلغ قيمة الطاقة الحركية للنيوكلون الواحد منها 1جيجا إ.ف. وأعلى، وتتوزع هذه الحسيمات بين 85% بروتونات و13% جسيمات ألفا، ويتوزع الباقي بين الإلكترونات وأنوية أثقل من نواة الهليوم (جسيم ألفا)، ومع تزايد الطاقة تقل كثافة تواجد هذه الجسيمات، إلا أنه قد تم رصد أعداد قليلة جدًا من جسيمات بطاقة 1020 إ.ف.، ولتصور ضخامة هذه الطاقة لجسيم كتلته تقاس بقيم أقل من 2 X10-24 جم، نجد أنها تساوي طاقة حركة كرة تنس (كتلتها حوالي 58جم) تمّ ضربها بإرسال «آس» بسرعة 253 كم/ساعة، مع العلم أن كتلة جسيم الأشعة الكونية تُمثل حوالي جزء واحد من 1026 جزء من كتلة كرة التنس؛ وتتأثر مسارات الأشعة الكونية ذات قيم الطاقة الأقل بشدة بالمجال المغناطيسي للأرض، وبالتالي، في نطاق الطاقات أدنى من 1 جيجا إ.ف. لكل نيوكلون، في كل خط عرض مغناطيسي جغرافي، توجد طاقة قطع لا يمكن اكتشاف الأشعة الكونية المجرّية الأولية فيها GCRs، كما يؤثر نشاط البقع الشمسية، الذي يخلق حقول مغناطيسية أقوى في الفضاء بين الكواكب بواسطة الرياح الشمسية،

وهذه الحقول «تقطع الطريق» على هذه الأشعة الكونية؛ ولو لم تتغذى الأشعة الكونية GCR لتناقصت شدتها، وفي الواقع تتجدد مواردها بمعدل متوسط 1034 جول/ثانية توفره انفجارات المستعرات العظمي supernova التي تحدث في المجرة كل 50 سنة تقريبًا.

تعرف الأشعة الكونية ذات الطاقات التي تزيد عن حوالي 1018 إ.ف. بالمصطلح «الأشعة الكونية عالية الطاقة للغاية -Very High Energy CR»، وهي نادرة جدًا بحيث لا يمكن اكتشافها إلا من خلال الانهمارات الجوية المتسعة (EAS: extensive air showers)، ويمكن أن تحتوي EAS على مليارات الجسيمات الثانوية بما في ذلك الفوتونات والإلكترونات والميونات وبعض النيوترونات التي تصل أحيانًا إلى سطح الأرض على شكل «دُش shower» متسع يغطي مساحة عدة كيلومترات مربعة؛ وتصل الجسيمات الأولية ذات الطاقة العالية للغاية إلى «سقف» الغلاف الجوي بمعدل شديد الانخفاض، تقريبًا جسيم واحد لكل كيلومتر مربع في القرن الواحد، ولدراسة الـ EAS يحتاج العلماء لمجموعة من أكثر من ألف جهاز كشف عن الجسيمات موزعة على مساحة واسعة،.كما يمكن أيضًا الكشف عن أشعة جاما الأولية ذات الطاقات التي تزيد عن 1 تيرا.إ.ف. (تريليون إلكترون فولت) عن طريق مجموعة تغطي مساحة كبيرة من تلسكوبات كواشف تشيرينكوف(17) توضع على الأرض أو تُعلق في الجو.

(17) كاشف تشيرنكوف هو الكاشف detector (العداد counter) المختص

بالكشف عن وتسجيل الجسيمات المشحونة ذات السرعات الفائقة، والمصمم على أساس ظاهرة إشعاع تشيرنكوف radiation Cherenkov - انبعاث الضوء المرئي الذي يحدث عندما يتحرك الجسيم المشحون خلال وسط بسرعة تفوق سرعة الطور phase velocity للضوء في هذا الوسط.

إن المجال المغنطيسي المجري ليس قويًا بما فيه الكفاية لحصر أكثر الجسيمات الأولية الأعلى طاقةً داخل مجرة درب التبانة، وكانت هناك اقتراحات بأن هذه الجسيمات تأتي من خارج درب التبانة، ربما في مجرات منشطة بثقوب سوداء فائقة الكتلة تصل كتلتها إلى مائة مليون ضعف كتلة الشمس. وقد لوحظ تباين صغير في اتجاهات الوصول عند قيم الطاقة التي تبلغ عدة تيرا إ.ف.؛ مع ذلك، فإن المجالات المغناطيسية بين المجرات قوية بما يكفي لجعل معظم جسيمات الأشعة الكونية تنحرف عن مسارها أثناء عبورها، مما يجعل من الصعب استخدام اتجاهات وصولها لتحديد أصولها الدقيقة. ولكن هناك قيد على المسافات التي يمكن أن تنتقل خلالها هذه الجسيمات إذ ستخسر هذه الجسيمات كميات كبيرة من الطاقة عند تصادمها مع فوتونات خلفية الميكروويف الكونية cosmic microwave background؛ وبسبب قلة عدد الجسيمات عالية الطاقة للغاية التي تمت دراسته، لا يمكن بعد استخلاص استنتاجات مؤكدة عن تفاعلاتها؛ وتنتج بعض الانهمارات ذات الطاقة العالية بواسطة أشعة جاما الكونية، والتي لها أهمية خاصة لأن مساراتها لا تتأثر بالمجالات المغناطيسية لأنها عديمة الكتلة، ويمكن أن تشير اتجاهات وصولها إلى مصادرها من أجسام كونية نشطة للغاية،على سبيل المثال، بقايا

المستعرات العظمى suprrnova remnants مثل سديم «سرطان نيبولا Crab Nebula» و«نوفا تيتشو Tycho's Nova»، ومن المجرات النشطة مثل Markarian 421 و501.

***

3-3 المعجلات النووية أو معجلات الجسيمات

بجوار الأشعة الكونية، يدرس الفيزيائيون الجسيمات الأولية بتقنية أخري، بواسطة المعجلات النووية الضخمة عالية الطاقة، واليوم يوجد أكثر من 30 ألف معجّلًا تعمل في جميع أنحاء العالم(18)؛ ومعجل الجسيمات Particle Accelerator هو جهاز يستخدم لتعجيل الجسيمات المشحونة، الإلكترونات أو البروتونات أو الديترونات (أيونات ذرات الهيدروجين الثقيل+D=2H) أو جسيمات ألفا (الأيونات مزدوجة الشحنة لذرات الهيليوم ++α = He) أو أيونات الذرات الخفيفة الأخرى لتكتسب طاقة عالية؛ ومن وجهة نظر التصميم تنقسم المعجلات إلى نوعين: المعجلات الخطية Linear Accelerators،والمعجلات الدائرية Circular Accelerators.

(18) بَنَت مصر أول معجل نووي في أفريقيا والشرق الأوسط عام 1959 في مؤسسة الطاقة الذرية بأنشاص، وتخرج في معامل الفيزياء المستفيدة به مئات علماء فيزياء التفاعلات النووية وعلماء الفيزياء النووية عمومًا.

وتستخدم أشعة الجسيمات المعجلة الناتجة في أغراض البحث العلمي في مجالات دراسة القوى النووية وفيزياء الجسيمات الأولية وفيزياء الطاقة العالية؛ وفي أفرع التكنولوجيا والصناعة المتطورة مثل استخدام معجلات الإلكترونات لمعالجة المواد البلاستيكية خاصة للمعالجة السطحية، كما تستخدم حزم أشعة الأيونات الأثقل المعجّلة استخدامًا مكثفًا في صناعة أشباه الموصلات وفي تصنيع

الرقائق، وتصلب أو تقسية hardening أسطح المواد مثلا المستخدمة في المفاصل الاصطناعية. كما يستفيد الطب، تشخيصًا وعلاجًا من المعجلات «الطبية» التي تقوم بدورين رئيسين، إنتاج النظائر المشعة للتشخيص والعلاج، وكمصدر لحزم الإلكترونات والبروتونات والجسيمات المشحونة الأثقل للعلاج (أساسًا علاج السرطان)، واستفاد من ذلك عشرات الملايين من المرضى في جميع أنحاء العالم؛ ذلك إلى جانب استخدام معجلات الإلكترونات لتشعيع الطعام لإطالة صلاحيته بقتل البكتيريا فيه، وفي التعقيم الطبي لأدوات الطب والجراحة، وفي تدمير العوامل المُمرِضة pathogen destruction؛ بل وتلعب معجلات الجسيمات دورًا مهمًا في الأمن القومي، بما في ذلك فحص الشحنات والطرود في المنافذ الجمركية، والكشف عن المواد.

وقد أشرنا سابقًا إلى دور المعجلات عالية الطاقة في توليد جسيمات أولية؛ عندما نجح فريق مارتن بيرل في توليد جسيمات ليبتون تاو في سبعينيات القرن العشرين في تجارب تصادم الإلكترونات مع البوزيترونات المعجلة، ذلك باستخدام معجل معامل ستانفورد/ كاليفورنيا SLAS، وهو أكبر معجل خطي في العالم، إذ يبلغ طوله 3.2 كم، وهو مدفون على عمق 9 أمتار تحت سطح الأرض، ويُعجِّل الإلكترونات والبوزيترونات حتى طاقة مقدارها 50 جيجا إ.ف.

ومنذ منتصف خمسينيات القرن العشرين ظهرت فكرة إجراء تجارب تصادم الجسيمات المعجَّلة في اتجاهين متضادين لتوليد جسيمات جديدة، وعند التصادم بالمواجهة head-on تصبح سرعة التصادم

النسبية مساوية لمجموع سرعتي الجسيمين المتصادمين، ولتنفيذ هذا التصادم بكثافة عالية تسمح بالحصول على نتائج موثوق بها، لا بد من «تخزين accumulation» الجسيمات المعجلة في مسارات مغلقة فيما يُسمَّى «حلقات التخزين storage rings».

نظرًا للارتفاع الكبير لتكلفة بناء معجلات توليد الجسيمات الأولية، فإننا نجدها فقط في مراكز بحوث البلاد المتقدمة الغنية، اوفي مراكز البحوث الدولية، مثل مركز البحوث النووية الأوروبي CERN، أو المعهد المتحد للبحوث النووية (19) JINR [انظر شكل12]، وقد تم في المعهد الأخير في 1957 بناء أكبر معجل في العالم (في ذلك الوقت)، وكان يعجل البروتونات حتى 10 جيجا إ.ف.، وهو المعجل الدائري «سينخروفازاترون synkhrophasotron»، وظل الأكبر حتى فقَدَ ريادته فقط عام 1959، واستلمها المركز الأوروبي.

(19) المعهد المتحد للبحوث النووية JINR: Joint Institute for Nuclear Research ، وهو المعهد الدولي المقابل للمركز الأوروبي CERN ، تأسس عام 1956 في مدينة دوبنا Dubna 120 كم شمال موسكو، ويعمل به حاليًا حوالي 1200 باحث، وكان مقتصرًا على مواطني الكتلة الشرقية مع استضافة باحثين قلائل من دول أخرى، وحاليا تتمتع بعضويته 18 دولة، بالإضافة إلى 6 دول أعضاء منتسبين (منها مصر)، من أشهر من عمل به إيجوركورتشاتوف «أبو القنبلة الذرية الروسية» وإيجور تام و إليا فرانك الحاصلان (مع بافل تشيرتكوف) على جائزة نوبل للفيزياء عام 1958.

وفيما يلي سنذكر أهم المعجلات عالية الطاقة وأهم «المصادمات» colliders، التي تم بواسطتها توليد ودراسة الجسيمات الأولية ضمن

أشهر مراكز البحوث الوطنية والدولية:

* السينكروترون البروتوني "Cosmotron :Proton Synchrotron" المدشن عام 1953 بمحيط 72 متر، في معامل بروكهافن الوطنية بالقرب من مدينة نيويورك BNL: Brookhaven National Laboratory، وكان –حتى تكهينه عام 1968- يعجل البروتونات حتى 3 جيجا إ.ف.، وساهم بشكل فعال في توليد ودراسة الميزونات.

تأسس مركز معامل BNL عام 1947، ويتبع الآن وزارة الطاقة DOE، ويعمل به 2700 عالم ومهندس وفني وإداري وأعمال مساعدة بشكل دائم، كما يستضيف سنويا آلاف الباحثين من داخل وخارج الولايات المتحدة، ويشمل مجال الأبحاث فيزياء الطاقة النووية وفيزياء الطاقة العالية، وعلوم المواد، والمواد النانوية، والكيمياء، والطاقة، والعلوم البيئية والبيولوجية والمناخية.

وتعتبر منظومة RHIC أهم منشآته في مجال فيزياء الطاقة العالية، ومنظومة مصادم RHIC: Relativistic Heavy Ion Collider واحدة من أقوى وأشهر منظومتي تصادم الجسيمات في العالم، وتتكون هذه المنظومة من عدة مراحل تعمل على تأيين الذرات الثقيلة مثل ذرات الذهب (197Au، تتركب النواة من 79 بروتون و118 نيوترون) لدرجة نزع جل إلكترونات الذرة، وتعجيل حزمتين من الأيونات ابتدائيًا بواسطة معجل خطي ثم معجل سينكروترون معزز (Booster synchrotron) لتعجيل الأيونات حتي سرعة تبلغ 37% من سرعة الضوء، وتُقاد هذه الأيونات لتدخل «السنكروترون المتدرج

المتناوب» AGS: Alternating Gradient Synchrotron، الذي يعجلها حتى تصبح سرعتها 99.7% من سرعة الضوء، وعندئذ تُقسَّم حزمة الأيونات مغناطيسيا إلى حزمتين متاضدتين الاتجاه تُخزن كل منهما في إحدى حلقتي المصادم النسبوي RHIC، محيط كل منهما حوالي 4 كم، وعندما يحدث تصادم الأيونات بالمواجهة head-on مع هذه السرعة الهائلة فإن البوتونات والنيوترونات التي تكوِّن الأيونات المتصادمة «تذوب» محاكيةً –تقريبا- ما حدث في اللحظات الأولى لنشوء الكون من «ولادة» للجسيمات الأساسية مثل تلك المتولدة مباشرة بعد الانفجار العظيم Big Bang. ومن المنشآت فوق العادة في المركز لا بد من الإشارة إلى المصدر الوطني السنكروتروني للضوء- II (NSLS-II: National Synchrotron Light Source- II) ويولد هذا المصدر حزم شديدة الكثافة من أشعة رونتجن (أشعة إكس) والأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء، متيحًا تقنيات تصوير متطورة لالتقاط «صورًا» على المستوى الذري لمجموعة متباينة من المواد، من الجزيئات البيولوجية إلى أجهزة أشباه الموصلات، فلدى الجهاز قدرة تحليلية عالية تصل إلى دقة نانومترية، مما يتيح إمكانيات هائلة للباحثين في مجال النانو، ويعزز تطوير الأجيال التالية لتكنولوجيات الطاقة المستدامة وتحسين تصوير هياكل البروتين المعقدة.

ومن الجدير بالذكر أن 11 عالمًا من العاملين بشكل دائم أو على فترات في BNL قد حصلوا على جائزة نوبل؛ 9 للفيزياء عن السنوات

1957- (2)، 1976- (1)، 1980 – (2)، 1988- (3)، 2002 – (1)؛ و2 للكيمياء عن العامين 2003 و 2009.

* السينكروترون البروتوني Proton Synchrotron : «Bevatron» المدشن عام 1954 في معامل لورنس بيركلي الوطنية :LBNL Lawrence Berkeley National Laboratory في ولاية كاليفورنيا، وكان –حتى تكهينه في أوائل السبعينيات- يعجل البروتونات حتى 6.2 جيجا إ.ف.، وساهم بشكل فعال في توليد ودراسة الأنتيبروتون antiproton والأنتينيوترون antineutron.

والجدير بالذكر أن مركز بحوث LBNL التابع لجامعة كاليفورنيا/ بيركلي واحد من أقوى مراكز البحوث النووية في العالم، المؤسس عام 1931، تحت إشراف الفيزيائي الشهير ارنست لورنس Ernest Lawrence (1901-1958)، الحائز على جائزة نوبل للفيزياء عام 1939 عن اختراع المعجل الدائري السيكلوترون، وذو المساهمة الفعالة في مشروع مانهاتن لتصنيع القنبلة «الذرية»، والذي تولى رئاسة المعامل الأولى لأكثر من ربع قرن في الفترة 1958-1931؛ ثم تولى رئاسة المعامل (1958-1972) عالم الفيزياء (والكيمياء) الشهير إدوين ماكميلان (1907-1991) Edwin McMillan، الذي شارك لورنس في تصميم السيكلوترون، بل وتوصل إلى تطويره على أساس التناغم synchronization لرفع طاقة التعجيل بالتغلب على التزايد النسبوي لكتلة relativistic mass increase الجسيم المُعجّل، وهو من أطلق مصطلح السينكروسيكلوترن synchrocyclotron على

السيكلوترون المعدل، ثم تحول هذا المصطلح إلى السينكروترون، وقد ساهم ماكميلان بفعالية في نجاح مشروع مانهاتن، كما اشترك مع عالم الكيمياء الأميركي المجري الأصل سيبورج في اكتشاف وفصل أول عنصر «فوق-يورانيوم transuranic» هو النبتنيوم Neptunium ذي العدد الذري Z=93، وحصل عن ذلك على جائزة نوبل للكيمياء عام 1951 مناصفة مع سيبورج؛ كما تولى رئاسة المعامل مؤخرًا (2004-2008) عالم الفيزياء الأميركي من أصول صينية ستيفين تشو Steven Chu الحاصل على جائزة نوبل للفيزياء عام 1997 عن انجازاته في مجال الليزر، ثم تولى تشو وزارة للطاقة DOE حتى فبراير 2013، وكان ولا يزال من مدافعًا صلدًا عن الحفاظ على البيئة وتقليص الاعتماد على الطاقة الأحفورية واللجوء للطاقة النووية.

* السينخروترون البروتوني Proton Synkhrotron : «U-70» المدشن عام 1970 بمحيط 1500متر في معهد فيزياء الطاقة العالية IHEP في مدينة سيربوخوف بالقرب من موسكو، ويعجل البروتونات حتى 70 جيجا إ.ف.، وكانت هذه أعلى طاقة تعجيل في ذلك الوقت.

* مركز CERN : Conseil (Organisation) Européenne pour la Recherche Nucléaire، تأسس في سبتمبر 1954 بواسطة 13 دولة أوروبية، أهمها فرنسا وألمانيا وبريطانيا وسويسرا، وإيطاليا، ووصل عدد الأعضاء اليوم 23، بالإضافة إلى 8 أعضاء منتسبين بينهم الهند والباكستان من خارج أوروبا، بلغت مساحة المركز 250 فدان عند تأسيسه في مدينة ميرن المجاورة لمدينة جنيف السويسرية عند

الحدود مع فرنسا، وفي 1965 زيدت المساحة بمقدار 1125 فدانًا في الأراضي الفرنسية [انظر شكل 13]؛ بدأ النشاط العلمي المهم في مجال فيزياء الطاقة العالية وفيزياء الجسيمات الأولية عام 1957 مع إطلاق اول معجل بالمركز وهو سينكروترون بطاقة تعجيل 600 م. إ.ف.، وبواسطته تم التحقق من تحلل البيون (π-meson)، بعد مرور 22 سنة على تنبؤ يوكافا بوجود الميزونات، ذلك خلال القوى الضعيفة إلى إلكترون ونيوترينو، مما ساهم في تطوير نظرية القوى الضعيفة بشكل فعال.

بعد ذلك تطور المركز تطورًا كبيرًا، واصبح الآن يمتلك في هذا المجال أكبر المنشآت وأكثرها تنوعا في العالم، أهمها:

- مصادم حلقتيْ التخزين المتقاطعتين ISR: Intersecting Storage Rings المدشن في 1971، لأول مرة على أساس الفكرة الثورية –المشار إليها- لمصادمة الجسيمات عالية الطاقة بالمجابهة head-on لحزمتيْ بروتونات معجّلة حتى 32 جيجا إ.ف.

- السوبر سينكروترون البروتوني SPS: Super Proton Synchrotron المدشن في 1976، بمحيط يبلغ 7 كم، الذي يعجل البروتونات الى طاقة على نبضات، يصل مقدار قمتها إلى 500 جيجا إ.ف.، وساهمت التجارب بواسطته في تطوير «النظرية الكهروضعيفة electroweak theory» التي تفتح آفاق توحيد القوي الكهرومغنطيسية المعروفة جيدا مع القوي الضعيفة (الخاصة بتحلل الجسيمات)، وبإضافة حلقة لتخزين الأنتيبروتونات في عام 1981،

تم تحويل الـ SPS إلى مصادم بروتون-أنتيبروتون، وبواسطته أجريت تجارب تصادم بروتون-أنتيبروتون عند طاقة تبلغ 270 جيجا إ.ف. لكل منهما، وتم توليد واكتشاف جسيمات W و Z (ناقلات القوة الضعيفة) الأولية في عام 1983، وعن هذا الاكتشاف حصل عالم الفيزياء الإيطالي كارلو روبيا ومهندس فيزياء المعجلات الهولندي سيمون فان دير مير على جائزة نوبل للفيزياء عام 1984.

- مصـــادم الإلكترونـــات والبوزيترونـــات الكبير (LEP: Large Electron Positron collider)، الذي تم تدشينه في يوليو 1989 الذي يعتبر واحدًا من أشهر المعجلات، وهو أكبر معجل إلكتروني/بوزيتروني في العالم، يبلغ طول محيطه 27 كيلومترًا، في بداية تشغيله كان يُعجل الإلكترونات والبوزيترون إلى 45 جيجا إ.ف.، وخلال تشغيله لمدة 11 سنة تم رفع طاقة التعجيل حتى 104 جيجا إ.ف.، وساهمت التجارب التي أجريت بواسطته بشكل فعال في تطوير نظريات الجسيمات الأولية، وقد أوقف تشغيله عام 2000، ذلك للاستفادة من النفق المدفون فيه لبناء مصادم أخر هو مصادم الهادرونات الكبير LHC: Large Hadron Collider ، المصمم لتعجيل البروتونات والأنتيبروتونات حتى 7 تيرا إ.ف.، للولوج إلى مستوى جديد لفيزياء الطاقة العالية، وقد بدأ تشغيله التجريبي عام 2008.

لا بد هنا من ذكر واحدة من أهم إنجازات هذا المركز التي أثرت بشكل عميق في ملايين (إن لم يكن مئات الملايين من البشر)، فقد بدأ

عالم الكمبيوتر المهندس الإنجليزي تيم بيرنرز لي Tim Berners-Lee في ثمانينات القرن العشرين العمل على نظام لتوزيع وربط الوثائق الإلكترونية وتصميم بروتوكول لنقلها بين أجهزة الكمبيوتر في المركز، وقدم نظامه إلى إدارة الـ CERN في عام 1990، وأصبح النظام يُعرف باسم شبكة الويب العالمية World Wide Web، وهي الآن وسيلة الاتصال السريع والفعال عبر «الإنترنت» (.www) ليس فقط لمجتمع الفيزياء عالية الطاقة في CERN ومراكز البحوث الأخرى، بل وللعالم بأسره؛ إن هذا المهندس الفذ لا يعمل فقط في ال CERN، بل يعمل كذلك ندبا أو على فترات في معهد التكنولوجيا الأميركي الشهير MIT، وفي جامعة أوكسفورد التي حصل فيها على بكالوريوس الهندسة عام 1976، وفي جامعة ساوثهامبتون، وعمل كذلك في الحكومة البريطانية عندما استدعاه رئيس الوزراء جوردن براون في 2006 لمساعدة الحكومة في إتاحة المعلومات الرسمية للجمهور وتسهيل الوصول إليها(!!)؛ وقد تم تكريمه بعشرات الجوائز والأوسمة، أهمها جائزة ACM: Association for Computer Machinery عام 2016 عن مساهماته ذات الأهمية التكنولوجية الدائمة والكبيرة في مجال الكمبيوتر، وهي الجائزة المقابلة لجوائز نوبل، حيث لا تُمنح الأخيرة في مجال علوم الكمبيوتر أو الرياضيات، كما منحته الملكة لقب سير/فارس في رأس سنة 2004، وقلادة إليزابيث للهندسة عام 2013.

* تأسس فيرمي لاب FermiLab عام 1967 في ولاية إلينوي بالقرب

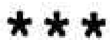
من شيكاغو، على اسم العالم الإيطالي «أبي الفيزياء النيوترونية»، أول من شغَّل مفاعلًا نوويًا(20) بجامعة شيكاغو عام 1944، ومُقترِح تسمية نيوترينو (المتعادل الصغير بالإيطالية)، ويعتبر الـ «تيفاترون Tevatron» أهم منشآت مركز فيرمي لاب، وهو سينكروترون فائق الموصلية superconductivity synchrotron، يبلغ طول محيطه 6.3 كم، ويعجِّل البروتونات والأنتيبروتونات حتي 980 جيجا إ.ف.، أي حوالي 1 تيرا.إ.ف. (ومن هنا اسم المعجل)؛ وتُعجَّل الجسيمات على 4 مراحل، تُجرى المرحلة الأولى بمعجل «كوكروفت-والتون» صغير حتى 750 ك.إ.ف.، ثم بمعجل خطي طوله 150م حتى 400 م.إ.ف.، وفي المرحلة الثالثة بواسطة سنكروترون حتى 150 جيجا إ.ف.، وأخيرا تُحقن حزمة الجسيمات المعجلة في التيفاترون؛ ومن الجدير بالذكر أن داخل أنبوب التعجيل لا بد وأن يُفرغ تفريغًا عاليًا high vacuumed حتى يكاد يصبح خاليًا تمامًا من أي ذرات قد تصطدم بها الجسيمات المعجلة وتتفاعل معها فتُفقد من الحزمة، ويستوجب ذلك تبريد داخل الأنبوب حتى قرب الصفر المطلق، ويتم ذلك باستخدام الهليوم السائل بدرجة حرارة حوالي 271 درجة مئوية تحت الصفر؛ كما أن ذلك التبريد ضروري لجعل أسلاك مغناطيسات التيفاترون الكهربائية الضخمة في حالة التوصيل الفائق.

(20) يعتبر مفاعل فيرمي أول مفاعل نجح بواسطته إنريكو فيرمي في إطلاق أول تفاعل مستمر ذاتيًا للانشطار المتسلسل self sustainable chain fission في 2 ديسمبر 1942.

وقد ساهم علماء FermiLab في بناء معجل/مصادم LHC وكاشف CMS وفي وضع وإجراء تجربة CMS في المركز الأوروبي CERN مساهمةً كبيرةً، حيث شاركوا في تطوير مكونات مهمة مثل مغناطيسات المعجل القوية التي تركز حزم الجسيمات المعجلة لرفع فعالية الاصطدام، وتطوير العديد من مكونات الكاشف :CMS Compact Muon Solenoid ، كاشف الميون الولبي المدمج. ويقوم علماء ومهندسو FermiLab، بالتعاون الوثيق مع مجموعات بحثية أمريكية أخرى، أيضًا ببناء مكونات لإجراء البحث والتطوير وإجراء تحسينات على المعجل LHC؛ ذلك ويعتبر كاشف CMS واحد من أكبر وأشهر وأعجب الكواشف، ويبلغ وزنه 14000 طن، ويُولّد مجالًا مغناطيسيًا مقداره 4 تسلا، أي حوالي 100000 ضعف المجال المغناطيسي للأرض، وتهدف تجربة CMS إلى دراسة الجسيمات الأولية الجديدة، بما في ذلك بوزون هيجز (Higgs Boson الذي سنتناوله لاحقًا) والبحث عن جسيمات إضافية يمكن أن تشكل ما يُسمَّى مادة مظلمة Dark Mass، أحد أهم مجالات البحث التي بدأ تطويرها في فيرمي لاب منذ اوائل الثمانينيات، و تعد تجربة CMS التي انطلقت مرحلتها الحالية في فبراير 2014 وتستمر حتى الآن، واحدة من أكبر تجارب التعاون العلمي الدولي في التاريخ، حيث شارك فيها 4300 من علماء فيزياء الجسيمات والمهندسين والفنيين والطلاب وموظفي الدعم من 182 مؤسسة من 42 دولة.

خلال سلسلة تجارب بدأت في مايو 1977 في معامل التيفاترون

في مركز فيرمي لاب، إكشف فريق مشترك من علماء الفيزياء من جامعة كولومبيا،وفيرمي لاب، وجامعة ولاية نيويورك جسيم جديد، أطلق عليه اسم يبدأ بحرف يوناني، هو ميزون أيبسيلون (Ypsilon أو Ψ-meson) وهو جسيم دون نووي sub-nuclear، بكتلة 9.5 جيجا إ.ف.، حوالي 10 أضعاف كتلة النيوكلون، أي أنه كان في ذلك الوقت أثقل الجسيمات الأولية على الإطلاق.



3-4 تصنيف الجسيمات الأولية «ما قبل الكوارك»

حتى منتصف سبعينيات القرن الماضي، ولمزيد من الدقة، حتى اكتشاف الكواركات وتأكيد وجودها، كان تعداد الجسيمات الأولية قد وصل إلى المئات، وأصبحت الحاجة إلى تصنيفها بطريقة صارمة منتظمة حاجة ماسة.

ونورد فيما يلي جدول تصنيف أهم الجسيمات الأولية «الكلاسيكي» أي التصنيف المعتمد قبل تبني التصنيف الحديث الذي أُعتمد بعد اكتشاف الكواركات وتأكيد وجودها، وتم تبني التقسيم الأحدث باعتبار أن الجسيمات «الأولية» بالمعنى الكامل لكلمة أولية حيث لا يتكون الجسيم الأولي مما هو أبسط منه، وسيتم تناول ذلك التصنيف النهائي (حتى الآن) في الباب الأخير من الأخير من الكتاب.

جدول تصنيف الجسيمات الأولية «الكلاسيكي»

النوع	Particle Name اسم الجسيم	الرمز	الكتله بوحدات كتلة الالكترون	الشحنة بوحدات شحنة الالكترون	متوسط العمر بالثواني
فوتونات	فوتون		0	0	∞
ليبتونات Lepton	نيترينو	ν	~0	0	∞
	انتينيترونو	$\tilde{\nu}$	~0	0	∞
	إلكترون	e^{-}	1	-1	∞
	بوزترون	e^{+}	1	+1	∞
	ميون سالب	μ^{-}	206.77	-1	2.21×10^{-6}
	ميون موجب	μ^{+}	206.77	+1	2.21×10^{-6}
	تاو	τ^{-}	3484.40	-1	2.9×10^{-13}
ميزونات Mesons	بيون موجب	π^{+}	273.18	+1	2.55×10^{-8}
	بيون سالب	π^{-}	273.18	-1	2.55×10^{-8}
	بيون متعادل	π^{0}	264.20	0	2.3×10^{-16}
	كي ميزون موجب	K^{+}	966.6	+1	1.22×10^{-8}
	كي ميزون سالب	K^{-}	966.6	-1	1.22×10^{-8}
	كي ميزون متعادل	K^{0}	974.2	0	8.95×10^{-11}
	دى ميزون	D^{0}	1864.86	0	0.4101×10^{-12}
		D^{+}	1869.62	±1	1.040×10^{-12}
		D^{+}_{s}	1968.49	±1	0.500×10^{-12}
	بي ميزون	B^{+}	5279.25	±1	1.641×10^{-12}
		B^{0}	5279.58	0	1.519×10^{-12}
		B^{0}_{s}	5366.77	0	1.497×10^{-12}
		B^{+}_{c}	6277.00	±1	0.453×10^{-12}
	إيتا ميزون	H	1072.14	0	$\sim 5.0 \times 10^{-19}$
باريونات - نيوكلونات	بروتون	p	1836.12	+1	∞
	انتيبروتون	$\bar{p}$	1836.12	-1	∞
	نيوترون	n	1838.65	0	1.01×10^{3}
	انتينيوترون	$\bar{n}$	1838.65	0	1.01×10^{3}
باريونات - هيبرونات	لامدا- متعادل	Λ^{0}	2187.6	0	2.6×10^{-10}
	سيجما- موجب	Σ^{+}	2332.1	1+	8.02×10^{-11}
	سيجما- متعادل	Σ^{0}	2338.5	0	7.4×10^{-20}
	سيجما- سالب	Σ^{-}	2347.9	1-	1.48×10^{-10}
	كساي- سالب	Ξ^{-}	2580.2	1-	1.3×10^{-10}
	كساي- متعادل	Ξ^{0}	2566.0	0	1.5×10^{-10}
	اوميجا	Ω^{-}	3279.3	1-	8.2×10^{-11}

وكما نرى من الجدول، فإن الجسيمات الأولية بالمعنى الكامل تعد على أصابع اليد الواحدة، ونقصد الجسيمات المستقرة التي لا تتحلل

متحولةً إلى جسيمات أخرى أصغر بالكتلة، أو لا تتركب من جسيمات أكثر «أوليةً». وهي الفوتون «الجسيم» الأولي عديم كتلة السكون فهو «كم quant» من الطاقة المتحركة بسرعة الضوء وتعتمد طاقته/ كتلته النسبوية على طول الموجة التي يحملها وتزداد مع تناقص طول الموجة.

ثم تأتي اللبتونات، وأولها أول «العظماء الثلاثة» الإلكترون e (وضديده البوزترون e+) الذي يطول «عمره life time» إلى مالا نهاية طالما لم يتقابل مع الضديد فيفنيان معًا متحولين إلى فوتونات بطاقة تقابل مجموع كتلتي سكونهما كما أشرنا قبلًا، وكذلك لم تثبت حتى يومنا هذا أي نظرية عن تكوين الإلكترون مما هو أبسط منه؛ والنيوترينو v (بأنواعه الثلاثة المشار إليها قبلًا)، وكتلة جسيم النيوترينو أقل من 0.00002 من كتلة الإلكترون، وهو جسيم مستقر، بل ونادرُ التفاعل مع الجسيمات الأخرى؛ والميونان μ− و μ+ سالب ومُوجب الشحنة الكهربائية، وكتلة الميون 206.77 ضعف كتلة الإلكترون، ومتوسط عمره 2.2 مايكروثانية وأساسًا (بنسبة حوالي 99%) يتحلل كل منهما، متحولًا إلى 3 لبتونات أخرى:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu \quad \text{و} \quad \mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$$

وآخر اللبتونات هو جسيم تاو τ- (وضديده τ+)، وهو جسيم ثقيل من أثقل الجسيمات الأولية عموما، أثقل من الإلكترون 3484.4 مرة،

بل وتكاد تصل كتلته إلى كتلة نواة الهيدروجين الثقيل (بروتون مع نيوترون)، وله شحنة الإلكترون؛ وهو غير مستقر، يبلغ متوسط عمره 10-13 × 2.9 ثانية، ويتحلل بعدة طرق عبر القوى الضعيفة إلى ليبتونات أخرى (ميونات ونيوترينوات، أو إلكترونات ونيوترينوات).

أما الميزونات فقد تم اكتشافها في الأشعة الكونية، وتخليقها في المعجلات بالمئات، وأوردنا في الجدول أهمها، وكلها جسيمات غير مستقرة؛ مثلًا تبلغ كتلة البيون المشحون 273.18 (π+) π كتلة إلكترونية، ويبلغ متوسط عمره 10-8 × 2.55 ثانية، يتحلل بعدها أساسًا

+ -π- → μ

$\tilde{\nu}_{\mu}$

متحولًا إلى ميون μ- وأنتينيوترينو

$\tilde{\nu}_{\mu}$

(والبيون الموجب إلى ميون μ+ ، ونيوترينو

ν_{μ}

:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

)، في حين تبلغ كتلة البييون π0 المتعادل 264.2 كتلة إلكترونية، ويبلغ متوسط عمره

$$2.3 \times 10^{-16}$$

ثانية، يتحلل بعدها أساسًا متحولًا إلى فوتونين جاما π0 → 2 γ، أي تفنى «كتلة سكونه» متحولةً إلى طاقة كهرومغناطيسية، علما بأن البيون المتعادل هو المسؤول عن القوى النووية الشديدة التي تربط النيوكلونات داخل نواة الذرة.

وفي القسم الأخير من الجدول نجد الهيبرونات Hyperons، وهي

فرع من الجسيمات الأولية يتبع لمجموعة أكبر من الجسيمات الأولية دون الذرية المعروفة باسم الباريونات Baryons، والأخيرة تضم كذلك النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) والذي يتكون كل منها من 3 كواركات Quarks كما سيأتي لاحقًا. وتتميز الهيبرونات عن «أبناء عمومتها» (حسب تعبير أشهر الموسوعات-بريتانيكا) النيوكلونات بأنها تحتوي على كوارك «غريب» إضافي (أو أكثر). وتشمل الهيبرونات بتصاعد الكتلة: جسيمات Λ0 لامبدا صفر متعادل الشحنة بكتلة 2187.6 كتلة إلكترونية، و يتحلل Λ0 بمتوسط عمر 2.6 × 10-10 ثانية متحولًا إلى بروتون p وبيون سالب -π بنسبة 63.9%، أو نيوترونn وبيون متعادل π0 بنسبة 35.8%؛ وثلاثية سيجما:

Σ^+

موجب الشحنة بكتلة 2332.1 كتلة إلكترونية، و يتحلل بمتوسط عمر

$$8.2 \times 10^{-11}$$

ثانية متحولًا إلى بروتون p وبيون متعادل π^0 بنسبة 51.6%، أو نيوترون n وبيون موجب π^+ بنسبة 48.3%، و

Σ^0

المتعادل بكتلة 2338.5 كتلة إلكترونية، ويتحلل بمتوسط عمر

$$7.4 \times 10^{-20}$$

ثانية متحولًا بنسبة 100% إلى جسيم Λ^0 وفوتون جاما γ، و

Σ^-

سالب الشحنة بكتلة 2347.9 كتلة إلكترونية، ويتحلل بمتوسط عمر

$$1.48 \times 10^{-10}$$

ثانية متحولًا بنسبة 99.9% إلى نيوترون n وبيون سالب π^- ،

وثنائية كساي Ξ: كساي المتعادل Ξ0 بكتلة 2578.2 كتلة إلكترونية، وكساي السالب

$$\Xi^-$$

بكتلة 2591.6 كتلة إلكترونية، ويتحلل الأول بمتوسط عمر

$$2.9 \times 10^{-10}$$

ثانية متحولًا بنسبة 99.5% إلى جسيمين Λ0 و π0، في حين يتحلل الثاني بمتوسط عمر

$$1.64 \times 10^{-10}$$

ثانية متحولا بنسبة 99.9% إلى جسيمين Λ0 و -π؛ وأخيرا هيبرون أوميجا

$$\Omega^-$$

سالب الشحنة بكتلة 3279.3 كتلة إلكترونية، ويتحلل بمتوسط عمر

$$8.21 \times 10^{-11}$$

ثانية متحولًا بنسبة 67.8% إلى جسيمين Λ0 و ميزون -K، أو إلى Ξ0 و -π (بنسبة 23.6%)، أو إلى

Ξ^-

و π0 (بنسبة 8.6%).

وجميع الميزونات غير مستقرة، تتميز بأعمار life times تتراوح بين 10-8 ثانية إلى أقل من 10-22 ثانية. كما أنها تختلف اختلافًا كبيرًا في الكتلة، من 140 م.إ.ف. (حوالي 280 مثيل كتلة الإلكترون) إلى ما يقرب من 10 جيجا إلكترون فولت(21)

$$10 \times 10^{+9}\, eV$$

(حوالي 19570 مثيل كتلة الإلكترون).

(21) في فيزياء الجسيمات الأولية كثيرًا ما نعبر عن الكتلة بوحدات الطاقة المقابلة وفقًا لمعادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة **E=mc2**، مثلًا نقول إن كتلة الإلكترون تساوي (0.51 م.إ.ف.).

الباب الرابع

الكواركات وما بعدها

بعد النمو الكبير في عدد الجسيمات الأولية، واكتشاف طرق متعددة لتحللها وتحولها إما إلى كمات طاقة (فوتونات) أو إلى مجموعات متباينة من جسيمات «أولية» باحتمالات مختلفة، بدأ العلماء في التفكير الجدي لتصنيف هذه الجسيمات على أسس فيزيائية مبتكرة؛ على أساس ارتباط الجسيمات بالقوى الطبيعية ومجالاتها؛ وعلى أساس اشتراكها واختلافها في خصائص مثل الكتلة والشحنة الكهربائية والتماثل (التناظر) symmetry، وأعداد كمومية quantum numbers مثل اللف المغزلي spin والازدواجية parity والغرابة strangeness؛ أو/ وعلى أساس «أولويتها» الزمنية المرتبطة بنشأة الكون فيزيائيًا وفلسفيًا.

القوى والجسيمات الحاملة لها:

كما أشرنا عاليه، هناك أربع قوى أساسية تعمل في الكون: القوة القوية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوة الضعيفة، وقوة الجاذبية، وتعمل على نطاقات مختلفة. قوى الجاذبية هي الأضعف لكنها ذات نطاق لا نهائي غير محدود الأبعاد، وكذلك القوة الكهرومغناطيسية لكنها أقوى عدة مرات من الجاذبية. وتتميز القوى الضعيفة والقوية بأن مداها قصير جدًا (عادةً بالفمتومتر) وتهيمن فقط على مستوى الجسيمات دون الذرية؛ وعلى الرغم من اسمها، فإن القوة الضعيفة

أقوى بكثير من الجاذبية لكنها في الواقع هي الأضعف في القوى الثلاث الأخرى، والقوة القوية، كما يوحي الاسم، هي الأقوى بين جميع التفاعلات الأساسية الأربعة.

***

4-1 اكتشاف الكوارك

تعود فكرة تركيب الجسيمات الأولية دون الذرية من جسيمات «أكثر أولوية» إلى كثير من الفيزيائيين، إلا أن أهم من ساهم في دراسة هذه الفكرة وتطويرها كان العالم الأميركي موراي جيل مان Murray Gell-Mann)، 15/9/1929- 24/5/2019).

وُلد جيل مان في مدينة نيويورك، وفي سن ال15 التحق بجامعة ييل Yale University (إحدى جامعات رابطة اللبلاب الشهيرة Ivy League) وحصل فيها على بكالوريوس الفيزياء في عام 1948، ثم التحق بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT حيث حصل على الدكتوراه (1951)، وكان بحثه للدكتوراه عن الجسيمات دون الذرية حافزا للأبحاث اللاحقة للفيزيائي الأميركي مجري الأصل يوجين ڤينر Eugene Wigner الحائز على نصف جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1963 عن «مساهماته في نظرية النواة الذرية والجسيمات الأولية، لا سيما من خلال اكتشاف وتطبيق مبادئ التماثل الأساسية».

في عام 1952 التحق جيل مان بمعهد الدراسات النووية بجامعة شيكاغو، وفي العام التالي اقترح(22) مفهومًا كموميًا جديدًا هو «الغرابة strangeness»، وهي خاصية كمومية تظهر في بعض أنماط تحلل الميزونات، واقترح لتوصيفها عددًا كموميًا quantum number جديدًا بنفس الاسم ورمزه "S"(23)، ووفقًا لما حدده جيل مان، فإن قانون بقاء conservation law جديد يتحقق في تفاعلات

الجسيمات دون الذرية، وعندما تولد جسيمات جديدة عن طريق القوى القوية strong forces، أي القوى التي تربط مكونات النواة الذرية، حيث يتم الحفاظ على قيمة العدد الكمومي المقترح: الغرابة.

(22) وقد قدم نيشيجيما كازوهيكو Nishijima Kazuhiko من اليابان نفس الاقتراح بشكل مستقل في نفس الوقت تقريبا، وقد أكدا (جيل مان وكازوهيكو) أن للجسيمات الأولية خاصية جديدة يطلق عليها اسم «الغرابة» ، وتظل محفوظة في التفاعلات النووية القوية عند تكوين الجسيمات الأولية، ولكن أثناء التحلل decay عندما تعمل القوة الضعيفة لا تحافظ الغرابة على قيمتها، كما هو الحال بالنسبة لتناظر اللف المغزلي النظائري iso-spin؛ ووفقًا لهذا الاقتراح يكون العدد الكمومي S بقيمة صحيحة فقط، لكل من البيون والبروتون والنيوترون S = 0؛ ونظرًا لأن القوة القوية تحافظ على الغرابة، فإنها يمكن أن تنتج جزيئات غريبة فقط «بالزوج» ، وتكون فيها القيمة الصافية للغرابة صفرًا.

(23) يجب الانتباه إلى عدم الخلط بين الخاصية والعدد الكمومي «الغرابة» المرموز لهما بالحرف الكبير S وبين الخاصية والعدد الكمومي «اللف المغزلي» المرموز لهما بالحرف الصغير s.

التحق جيل مان للعمل كعضو هيئة تدريس بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا عام 1955، وهناك وبالتعاون مع أبرام بابيس Abraham Pais الفيزيائي الأميركي (هولندي المولد- أحد مساعدي نيلس بور سابقًا) قام بإجراء ونشر بحث به توقع مثير للاهتمام حول تحلل كا-ميزون K-meson المتعادل (انظر جدول تصنيف الجسيمات في الفصل 4-3)، ويقدم تفسيرهما توضيحًا ممتازًا للبديهية axiom الميكانيكية الكمومية بأن الدالة الموجية Ψ يمكن أن

تكون تراكبًا superposition لحالات كمومية quantum states مختلفة، وقد حفّز هذا البحث العالمين الأميركيين جيمس كرونين James Cronin وفال فيتش Val Fitch للقيام بدراسة مهمة في ميكانيكا الكم الخاصة بالجسيمات الأولية، وحصلا في عام 1980 على جائزة نوبل للفيزياء عن «إثبات الانتهاك المتزامن لكل من تماثل اقتران الشحنة وتماثل انعكاس الازدواجية demonstration of simultaneous violation of both charge-conjugation and parity-inversion symmetries»، أو ما يعرف باختصار ب CP- violation.

وقد ابتكر ماك جيل مع الفيزيائي الأميركي ريتشارد فيينمان Richard Feynman نظرية راجعت معظم الظواهر المرتبطة بالقوة الضعيفة، وهي القوة المتحكمة في التحلل الإشعاعي، ولقد أثبتت نظريتهما، التي عنِيَت بالتماثل في فيزياء الجسيمات الأولية وتحولت إلى مفهوم كمومي جديد، شديد التعقيد، عرف بمصطلح «خيراليتي»(24) أو «handedness»، أو «اليدّية» غير المتناظرة والمتعلقة بالدوران المغزلي للجسيم؛ وقد واصل فيينمان بحوثه في هذا الاتجاه حتى حصل على جائزة نوبل للفيزياء (1965) عن تطوير «المبادئ الأساسية للإلكتروديناميكا الكمومية basic principles of quantum electrodynamics».

(24) خاصية كمومية عن عدم امكانية مطابقة صورة المرآة على الأصل ومصطلح chirality من كلمة (cheria :Χέρια) وتعني ياليونانية اليدان

hands. وبالمعنى البيولوجي handedness هو الميل إلى استخدام اليد اليمنى أو اليسرى بشكل طبيعي أكثر، أو هيمنة احدى اليدين على الأخرى ، أو التوزيع غير المتكافئ للمهارات الحركية الدقيقة بين اليد اليمنى واليسرى. إنه يشير إلى ميل البشر إلى أن يكونوا أكثر مهارة بيد عن الأخرى ، أو في بعض الأحيان مجرد تفضيل يد على الأخرى.

في عام 1961، اقترح موراي جيل مان مخططًا لتصنيف الجسيمات الأولية التي تتحكم في تفاعلاتها القوى القوية، وهي الجسيمات التي عُرِّفت لاحقا بالمصطلح «هادرونات hadrons» وتشمل الميزونات والباريونات (مثل البروتونات والنيوترونات وجسيمات سيجما Σ)، وتجمعاتها الرنينية resonances ؛ وقد أُقتُرِح المخطط وفقًا وعلى أساس «مسار المضاعفات الثُمانيّة»(25)Eightfold Way، وصنفت إلى مجموعات multiplets على أساس خصائصها المتماثلة، وعدد أعضاء كل مجموعة هو 1، 8 (في معظم الأحيان)، 10، أو 27، وكما ذكرنا تم الاقتراح قياسا مع المسار الثامن للبوذية بسبب مركزية الرقم ثمانية من اسم «مسار بوذا الثامن إلى التنوير والنعيم»، وأكد جيل مان أنه من الممكن شرح خصائص معينة للجسيمات الأولية المعروفة على أساس أنها تتركب من جسيمات «أكثر أولية» أو لبنات أساسية، أطلقَ عليها فيما بعد مصطلح «كواركات» quarks، والكلمة اقترحها جيل مان من رواية الخيال العلمي للكاتب الإيرلندي جيمس جويس «يقظة فينيجانز Finnegans Wake »؛ وكان أحد النجاحات المبكرة لفرضية جيل مان هو التنبؤ بالاكتشاف اللاحق لجسيم أوميجا ناقص Ω- عام 1964.

(25) فلسفيًا وتاريخيًا يعتبر المسار ثماني الأضعاف في البوذية ، صياغة مبكرة لطريق التنوير، فتظهر فكرة المسار الثماني في ما يُعتبر الموعظة الأولى لمؤسس البوذية ، بوذا ، والتي ألقاها بعد «تنويره». و فيها حدد مسارا متوسطًا ، المسار الثماني ، بين أقصى درجات الزهد والتسامح الحسي، وغالبًا ما يُعرف باسم «المسار الثماني النبيل»، أو بشكل أكثر دقة على أنه «المسار الثماني للنبلاء (روحيًا)»؛ وباختصار العناصر الثمانية للمسار هي: 1) الرؤية الصحيحة ، الفهم الدقيق لطبيعة الأشياء ، وتحديدا الحقائق الأربعة النبيلة ، 2) النية الصحيحة ، وتجنب أفكار التملق ، والكراهية ، والنية الضارة ، 3) الكلام الصحيح، والامتناع عن الأفعال اللفظية مثل الكذب والكلام القاسي والكلام الذي لا معنى له ، 4) العمل الصحيح ، والامتناع عن الأفعال الجسدية «السيئة» مثل القتل والسرقة وسوء السلوك الجنسي ، 5) سبل العيش الصحيحة ، وتجنب الصفقات التي تضر الآخرين بشكل مباشر أو غير مباشر ، مثل بيع العبيد أو الأسلحة أو الحيوانات للذبح أو المسكرات أو السموم، 6) الجهد الصحيح ، والتخلي عن الحالات الذهنية السلبية التي نشأت بالفعل، ومنع الحالات السلبية التي لم تنشأ بعد ، و الحفاظ على الحالات الإيجابية التي نشأت بالفعل ، 7) تصحيح الذهن والوعي بالجسد والمشاعر والفكر والظواهر (مكونات العالم الحالي) ، و 8) التركيز الصحيح ، والتفكير الأحادي.

في الواقع ودون علاقة بالعالم جيل مان قدم الفيزيائي الروسي الأميركي جورج زويغ George Zweig بينما كان زائرًا لمركز البحوث الأوروبي CERN في مقال مؤرخ في 17 يناير 1964، قدم اقتراحًا كتب فيه: «تتكون الميزونات والباريونات من مجموعة من ثلاث جسيمات أساسية تسمى الآسات aces»، وعلى الرغم من أن اسم الجسيمات الذي اقترحه زويج لم يجد مستقبلًا، إلا أن زويج أوضح أن بعض خصائص الهادرونات يمكن تفسيرها باعتبار أن

الهادرونات تتكون من ثلاثيات triplets من هذه الجسيمات «الأكثر أولية» (الآسات).

وكان لا بد وأن يكون لكلٍ من كواركات جيل مان أو آسات زويج شحنة كهربائية عبارة عن كسر بسيط من شحنة الإلكترون، مثلًا تساوي 1/3 أو 2/3 شحنة الإلكترون أو البروتون، وانتظر المجتمع العلمي الإثبات العملي التجريبي لتواجد هذه الجسيمات.

في عام 1968، وفي مركز معامل ستانفورد (SLAC) في الولايات المتحدة أجرى فريق بحثي مشترك من معهد ماساشوتس (MIT) ومركز ستانفورد سلسلة من تجارب تشتت إلكترون-بروتون، كشفت عن أول إشارات تدل على أن النيوكلونات لها بنية داخلية، حيث أطلق الفريق الإلكترونات عالية التعجيل على البروتونات، للكشف عما إذا كان للبروتون تركيب داخلي، ودرس الفريق ارتداد وتشتت هذه الإلكترونات، فدلت أنماط التشتت على وجود جسيمات «نقطية» داخل البروتونات. في السنوات اللاحقة، من خلال الجمع بين هذه النتائج مع نتائج التجارب الأخرى لتشتت النيوترينو التي تمت دراستها بواسطة غرفة الفقاعات bubble chamber (نوع من كواشف الجسيمات detectors) في المعهد الأوروبي CERN، أصبح من الواضح أن لهذه المكونات الداخلية بالفعل شحنة كهربائية تساوي 1/3 أو 2/3 شحنة الإلكترون؛ وكان ذلك تأكيدًا لا يدع مجالًا للشك لصحة نظرية جيل مان، فحصل على جائزة نوبل للفيزياء في 1969 عن «تصنيف الجسيمات دون الذرية وتفاعلاتها».

جدول الكواركات

الكتلة		العدد الكمومي Quantum Number				الشحنة	العدد	نوع الكوارك
كتلة الكترونية (m_e)	(م.إ.ف) (MeV)	القمة top** t	القاع bottom** C	السحر charm** C	الغرابة strangeness** S	Charge	الباريوني baryon number	type
9.78-29.35	5-15	0	0	0	0	-(1/3)e	1/3	إلى أسفل down (d)
3.91-15.66	2-8	0	0	0	0	+(2/3)e	1/3	إلى أعلى up(u)
195.69-587.08	100-300	0	0	0	-1	-(1/3)e	1/3	غريب strange(S)
1956.95-3131.12	1,000-1,600	0	0	1	0	+(2/3)e	1/3	ساحر charm (c)
8023-8806	4,100-4,500	0	-1	0	0	-(1/3)e	1/3	قاعي bottom(b)
~352250	180,000	1	0	0	0	+(2/3)e	1/3	قمي top(t)

*** بالطبع الأنتي كواركات موجودة بالنسبة لكل نكهات الكواركات، وتتميز بقيم معاكسة لجميع الأعداد الكمومية المذكورة هنا.**

**** هذه هي الأعداد الكمومية التي يجب أن توصف بها الكواركات للتمييز بين النكهات المختلفة.**

ووفقًا لنموذج جيل مان تتكون جميع الميزونات من كواركات وأنتي-كواركات antiquarks، و تتكون جميع الباريونات من ثلاثة كواركات، وقد افترض جيل مان وجود ثلاثة أنواع من الكواركات، تتميز بـ «النكهات flavours» الفريدة، والأنواع الثلاثة للكواركات هي (u) من up «إلى أعلى»، و(d) من «down إلى أسفل»، و(S) من strange «غريبة»، وكل كوارك يحمل شحنة كهربائية تساوي كسر بسيط من شحنة الإلكترون، كما هو موضح بالجدول، وتتكون بروتونات ونيوترونات المادة العادية من 3 كواركات، فيتكون البروتون

من 2 كوارك (u) و 1 كوارك (d) وشحنته الكلية +1e، في حين يتكون النيوترون من 2 كوارك (d) و 1 كوارك (u) لذا يكون متعادل الشحنة، وهكذا تتواجد هذه الكواكات d و u في كل أنوية العناصر التي تكوّن عالمنا الأرضي.

أما الكواركات الغريبة (ذات الشحنة 1/3 شحنة الإلكترون) فهي التي تكوّن ميزونات K والعديد من الجسيمات دون الذرية قصيرة العمر للغاية، وقد تم اكتشاف الكواركات الغريبة والتأكيد المعملي على وجودها عام 1968 في مركز ستانفورد عند دراسة ميزونات K، ونجد هذه الميزونات K والكواركات الغريبة في الطبيعة فقط في الأشعة الكونية، ولا تلعب أي دور في المادة العادية (ذات الأصل «الأرضي»)، ولكنها على الأرجح لعبت دورًا أثناء نشوء الكون.

في الواقع، إن مفاهيم خصائص الكواركات وتصنيفها شديدة التعقيد وتحتاج من القارئ الإلمام الجيد بأسرار فيزياء الكم Quantum Physics، لذا سنكتفي بالإشارة الموجزة إلى هذه الخصائص. انطلاقًا من تحلل الباي ميزون π0 إلى فوتونين ومن الانتهاك CP المشار إليه عاليه، اقترح علماء الكروموديناميكا الكمومية quantum chromodynamics في سبعينات القرن العشرين مفهوما جديدا لخاصية اللون colour لتوصيف الكواركات، وليس للون الكواركات الافتراضي الوهمي أي علاقة بالألوان الاعتيادية في العالم اليومي، بل يمثل خاصية للكواركات مصدر القوة النووية القوية، وتُنسب الألوان الأحمر والأخضر والأزرق إلى الكواركات، في حين تُنسب أضداد هذه

الألوان إلى الأنتي-كواركات؛ وعلى سبيل المثال يتكون الباريون (انظر الجدول في 4-3) دائمًا من مزيج من كوارك أحمر، وآخر أخضر، وثالث أزرق. تلعب خاصية اللون في القوة القوية دورًا مشابهًا للشحنة في القوة الكهرومغناطيسية، وكما تعني الشحنة تبادل الفوتونات بين الجسيمات المشحونة في مجالات القوى الكهرومغناطيسية، فإن الألوان تنطوي أيضًا على تبادل جسيمات بدون كتلة سكون (تسمى الجلوونات (gluons بين الكواركات، تمامًا كما تحمل الفوتونات عديمة الكتلة القوة الكهرومغناطيسية، فإن الجلوونات تنقل القوى التي تربط الكواركات معًا.

وُلِد واكتشف الكوارك «الساحر» c بواسطة فريقي بحث مستقلين وفي نفس الوقت تقريبًا في نوفمبر 1974 (وقد اطلق علماء فيزياء الجسيمات اسم «ثورة نوفمبر» على هذه الأحداث)، أحدهما في مركز ستانفورد SLAC بقيادة بيرتون ريتشتر Burton Richter، والثاني في مركز بروكهافن BNL بقيادة العالم صيني الأصل صمويل تينج Ting Samuel، وذلك بواسطة المعجلات العملاقة المشار إليها في الفصل (3-3)، وكانت هذه الكواركات مربوطة مع أضدادها antiquarks داخل الميزونات المُخلَّقة، وقد اطلق كل فريق منهما على «المولود» اسما مختلفا عن الفريق الآخر، سمّاها فريق ستانفورد ψ، اما فريق بروكهافن فاعطاها الرمز J (أول حرف من اسم ابنة تينج، كما يقال) لذا يُسمَّى هذا الميزون للآن «ميزون J/ψ»، وقد أقنعت «ثورة نوفمبر» نهائيًا وأخيرًا مجتمع فيزياء الجسيمات الأولية

بصلاحية نموذج الكوارك؛ وقد حصل ريتشتر و تينج على جائزة نوبل للفيزياء في 1976 عن «اكتشاف نوع جديد من الجسيمات الأولية discovery of a new class of elementary particles (psi, .«or J)

اقترح الفيزيائيان ماكوتو كوباياشي Makoto Kobayashi وتوشيهيدي ماسكاوا Toshihide Maskawa «كوارك القاع b» نظريًا لأول مرة عام 1973 لشرح الانتهاك شحنة/ازدواجية (-CP violation) السابق ذكره في هذا الفصل، وقد حصلا لاحقًا (في 2008) على جائزة نوبل للفيزياء عن «اكتشاف أصل التماثل المنتهك والذي يتنبأ بوجود ثلاث مجموعات على الأقل من الكواركات في الطبيعة discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature»؛ وقد تم اكتشاف هذا الكوارك الذي سُمِّيَ «كوارك القاع (26)«bottom quark عمليًا في عام 1977 بالتجربة الشهيرة E288 باستخدام المعجل المهول في مركز فيرمي لاب (المشار اليه في الفصل 3-3) بقيادة الفيزيائي الأميركي ليون ليدرمان Leon Lederman، وتم هذا مع اكتشاف ميزون أوبسيلن (:Y Upsilon meson) ، الذي يتركب من كوارك قاع و أنتي كوارك قاع، لذا يعرف أحيانًا بمصطلح «كواركونيوم quarkonium»، وتبلغ كتلة هذا الميزون حوالي 18591 كتلة إلكترونية وهو أثقل الميزونات المعروفة حتى الآن، ويبلغ عمره

$$1.21 \times 10^{-20}$$

ثانية؛ وقد حصل ليدرمان (مع عالمين أميركيين آخرين هما ميلفين شوارتز Melvin Schwartz وجاك شتينبرجر Jack Steinberger) على جائزة نوبل للفيزياء عام 1988 عن «البحوث في مجال الجسيمات دون الذرية research in subatomic particles».

(26) يُسمّى bottom quark أحيانًا الكوارك السفلي، أوببساطة كوارك بي: b-quark.

أشار اكتشاف الكواركين «c» و«b» في السبعينيات من القرن الماضي وما يقابلهما من أنتي-كواركات، والذي تحقق أثناء إجراء تجارب تخليق بعض الميزونات معمليًا، أشار بقوة إلى أن الكواركات تتولد «بالزوج»، وأدى هذا إلى تكثيف الجهود المبذولة، ذلك لإيجاد شريك للكوارك b، ووفقًا للنظرية كان التكهن هو أن يحمل الكوارك السادس -والذي سيطلق عليه اسم الكوارك العلوي t من «top» - شحنة

$$\left(+ \frac{2}{3} e \right)$$

؛ إذ إن لدى شريكه المقابل b شحنة

$$\left(- \frac{1}{3} e \right)$$

؛ وفي عام 1995 أعلنت مجموعتان مستقلتان من العلماء في مركز فيرمي لاب العثور على الكوارك العلوي، والأدق أنهم أنتجوه (ولّدوه)، وقدروا كتلته بحوالي 180 جيجا إ. ف. (GeV)، 352250 كتلة إلكترونية، أي أن كتلة هذا الكوارك مهول الكتلة أكبر من كتلة 190 ذرة هيدروجين، ولم يتضح بعد سبب كون الكوارك العلوي أكبر بكثير من كل الجسيمات الأولية الأخرى، بل أكبر من أثقل الكواركات الأخري (شريكه الكوارك b) بأكثر من 40 مرة.

النموذج القياسي للجسيمات الأولية

ثلاثة أجيال من المادة (الفيرميونات)

	I	II	III	
الكتلة / الشحنة / الدوران	≈2.4 MeV/c^2 2/3 1/2 u العلوي	≈1.275 GeV/c^2 2/3 1/2 c الساحر	≈172.44 GeV/c^2 2/3 1/2 t القمي	0 0 1 g غلوون
الكواركات	≈4.8 MeV/c^2 -1/3 1/2 d السفلي	≈95 MeV/c^2 -1/3 1/2 s الغريب	≈4.18 GeV/c^2 -1/3 1/2 b القعري	0 0 1 γ فوتون
	≈0.511 MeV/c^2 -1 1/2 e إلكترون	≈105.67 MeV/c^2 -1 1/2 μ ميوون	≈1.7768 GeV/c^2 -1 1/2 τ تاو	≈91.19 GeV/c^2 0 1 Z بوزونات ضعيفة
اللبتونات	<2.2 eV/c^2 0 1/2 ν_e نيوترينو إلكترون	<1.7 MeV/c^2 0 1/2 ν_μ نيوترينو ميوون	<15.5 MeV/c^2 0 1/2 ν_τ نيوترينو تاو	≈80.39 GeV/c^2 ±1 1 W بوزونات ضعيفة

البوزونات العيارية

[للشكل الملون المتكامل انظر ملحق الأشكال].

4-2 البوزونات

ها نحن نقترب من نهاية الكتاب ولا يزال تصورنا عن المكونات الأساسية للكون غير متكامل، إلا أن علماء فيزياء الجسيمات الأولية متفقون على التالي.

وفقًا للنموذج القياسي Standard Model للجسيمات الأولية (يُسمَّى أحيانًا «نموذج الاثني عشر»، وهو النموذج المعتمد حتى الآن)، يتكون كل شيء مادي حولنا من جسيمات أولية، هي اللبنات الأساسية للمادة والتي لا تتركب مما هو أقل، وتُصنف هذه الجسيمات في مجموعتين/نوعين أساسيين: الكواركات واللبتونات. تتكون كل مجموعة من ستة جسيمات، وترتبط في أزواج أو «أجيال»؛ تشكل الجسيمات الأقل كتلةً والأكثر استقرارًا الجيلَ الأول، في حين تنتمي الجسيمات الأكبر كتلة والأقل استقرارًا (أي ذات الأعمار النهائية) إلى الجيلين الثاني والثالث؛ تتكون جميع المواد المستقرة في الكون من جسيمات تنتمي إلى الجيل الأول ؛ وأي جسيمات أكبر كتلةً تتحلل بسرعة إلى جسيمات أقل كتلة وأكثر استقرارًا، ترتب اللبتونات الستة في ثلاثة أجيال، الجيل الأول: الإلكترون والنيوترينو الإلكترونية، والثاني: الميون والنيوترينو الميونية، والثالث: جسيم «تاو» و«النيوترينو التاوية»؛ ويتميز الإلكترون والميون والتاو بالشحنة الكهربائية والكتلة المقاسة المعقولة، في حين أن النيوترينوات محايدة كهربائيًا ولديها كتلة قليلة للغاية (للآن بالنسبة للنيوترينو الإلكترونية أقل من 0.00002 من كتلة الإلكترون، وبالنسبة لنوعي النيوترينو

الآخرين فإن الكتلة أكبر قليلًا)؛ وكما جاء في الفصل (4-3) يتحلل الميون (من الجيل الثاني) إلى إلكترون (من الجيل الأول) وجسيمين نيوترينو (أحدهما ve من الجيل الأول)، كما يتحلل التاو إلى ميونات ونيوترينوات. وكذلك تصنف الكواركات الستة في ثلاثة أجيال، الجيل الأول: كوارك لأعلى u من up (ويُسمَّى أحيانًا: الكوارك «العلوي») وكوارك لأسفل d من down (ويُسمَّى أحيانًا: الكوارك «السفلي») ، يليهما كوارك «السحر» c من charm والكوارك S من strange «الغريب» للجيل الثاني، ثم كوارك «القمة t» من top (ويُسمَّى أحيانًا: الكوارك «القمي») و كوارك «القاع b» من bottom (ويُسمَّى أحيانًا: الكوارك «القعري»)؛ وما زالت الكواركات وخصائصها في طور البحث والدراسة المكثفين، إلا أن الشواهد الحالية تشير إلى أن الكوارك من الجيل الأعلى يتحلل متحولًا دائما إلى كوارك (أو أكثر) من جيل أقل.

تنجم ثلاثة من القوى الأساسية عن تبادل الجسيمات حاملة القوة، والتي تنتمي إلى مجموعة أوسع أطلق عليها علماء فيزياء الجسيمات الأولية مصطلح «البوزونات bosons»، ووفقًا لفيزياء الكم تتبادل جسيمات المادة الطاقة مع بعضها البعض بكميات (كمات الطاقة energy quanta) منفصلة محددة discrete amounts، وهي التي أطلق عليها اسم البوزونات؛ ولكل قوة أساسية بوزون خاص بها، فوسيط القوة الكهرومغناطيسية هو «الفوتون»، أما وسيط القوة القوية فيُسمَّى «جلوون gluon»، في حين أن البوزونات «W و Z» هي المسؤولة عن القوة الضعيفة.

الجلوونات هي حاملات (رُسُل) القوة النووية القوية التي تربط الكواركات داخل النيوكلونات (البروتونات والنيوترونات) في عناصر المادة، وفي الجسيمات الثقيلة قصيرة العمر المتولدة عند الطاقات العالية، حيث تتفاعل الكواركات ببعث وامتصاص الجلوونات كما تتفاعل كهربائيًا الجسيمات المشحونة ببعث وامتصاص الفوتونات.

وكما سبقت الإشارة، تصف نظرية القوى القوية في إطار الكروموديناميكا الكمومية QCD تفاعلات الكواركات بواسطة الجلوونات (عديمة الكتلة) والتي تحمل (مثل الكواركات) «شحنةً قوية strong charge» شميت باللون (الافتراضي) مما يعني أن الجلوونات تستطيع أن تتفاعل فيما بينها عن طريق القوى القوية، وقد تأكدت هذه الفكرة في 1979 في المعمل الألماني القومي بهامبورج عند دراسة تصادمات الجسيمات عالية الطاقة بواسطة معجل السينكروترون DESY.

وعلى الرغم من أن القوة من النوع الرابع، قوة الجاذبية، هي القوة الأكثر شيوعا في حياتنا اليومية، القوة التي نشعر بها دائمًا وبحواسنا المجردة، إلا أنه للآن لم يتم الكشف عن «الجسيمات/كمات الطاقة» الحاملة لهذه القوة(27)، وبالتالي فإنها لم تدخل في النموذج القياسي الحالي للجسيمات الأولية، ولكن لحسن الحظ تدرس فيزياءُ الجسيمات الأولية الأمور المتعلقة بالمقاييس الضئيلة في العالَم الميكرو (micro-world)، عالَم الجسيمات دون الذرية، حيث يكون تأثير الجاذبية ضعيفًا لدرجة أنه لا يكاد يذكر.

(27) مع ذلك جهّز علماء فيزياء الجسيمات الأولية اسمًا لها : جرافيتون graviton، من كلمة الجاذبية gravity.

في الواقع، منذ بداية القرن العشرين، ويراود العلماء حلم توحيد أنواع القوى الموجودة في الطبيعة، أو على الأقل إيجاد رابط قوي بينها ووصفها رياضيًا بمنظومة معادلات موحدة، وقد حاول أينشتاين طويلًا الوصول إلى نجاحات مماثلة كما في النسبية الخاصة والنسبية العامة ولكن دون نجاحات تذكر، وكان يسمي هذا الاتجاه بـ «نظرية المجال الموحد unified field theory». وفي السبعينيات وجد الفيزيائيون دلائل قوية على وجود روابط وثيقة بين نوعين من القوي الأربعة المشار إليها، القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة، وتمكنوا من تناول هاتين القوتين ضمن نظرية تمثل أحد أسس النموذج القياسي للجسيمات الأولية، ويعتبر هذا التوحيد أن الكهرباء والمغناطيسية والضوء وبعض أشكال النشاط الإشعاعي كلها تجليات لقوى وحيدة أطلقوا عليها «القوى الكهرو-ضعيفة electroweak force».

وتصف المعادلات الأساسية للنظرية الموحدة هذه بشكل صحيح قوى التفاعل الكهرو-ضعيف، ووفقًا للنظرية فإن الجسيمات حاملة هذه القوى هي الفوتونات والبوزونات WوZ، والمفروض أن تتواجد هذه الجسيمات دون «كتلة سكون»؛ وفي حين أن هذا صحيح بالنسبة للفوتون حامل القوة الكهرومغناطيسية ذات المدى اللا نهائي، إلا أن البوزونات WوZ حاملة القوة الضعيفة ذات المدى القصير للغاية يجب

أن تتميز بكتلة كبيرة، تقترب من 100 ضعف كتلة البروتون. لحسن الحظ، قدم علماء الفيزياء النظرية روبرت بروت وفرانسوا إنجلرت وبيتر هيجز اقتراحًا لحل هذه المشكلة؛ إن ما نسميه «آلية بروت-إنجلرت- هيجز mechanism Brout-Englert-Higgs» تعطي كتلة لـ W وZ عندما يتفاعلان مع حقل غير مرئي، يُطلق عليه الآن «حقل Higgs»،الذي يعم ويملأ الكون كله(28).

(28) يكاد أن يكون هذا عودةً إلى المفهوم الإغريقى المشار إليه في المقدمة: الأثير ethir.

ولسنوات لم يكن هناك إثبات تجريبي يؤكد وجود البوزونات، إلى أن

حل الرابع من يوليو 2012 عندما أعلنت مجموعتان من الفيزيائيين التجريبيين أثناء إجراء التجارب على مصادم الهاردونات الضخم LHC في المركز الأوروبي CERN أنه قد اكتشاف جسيم جديد بكتلة تعادل حوالي 125 جيجا.إ.ف. (حوالي 133 مثيل كتلة البروتون)، وفي هذه التجارب، تتولد البوزونات بعدة طرق أهمها يحدث عند تصادم بروتونين بطاقة عالية، فينبعث من كلٍ البروتونين W بوزون، ثم يتصادم الـ Wبوزونان مولدين هيجز بوزون، الذي بدوره يتحلل بمتوسط عمر

$$1.56 \times 10^{-22}$$

ثانية متحولًا إلى إلكترون وبوزترون، أو ميون وأنتي-ميون.

واعترافًا بجهود علماء المركز الأوروبي في مجال فيزياء الجسيمات الأولية (خاصة النظريين منهم)، حصل الفيزيائيان البريطاني بيتر هيجز والبلجيكي فرانسوا إنجليرت على جائزة نوبل للفيزياء 2013 عن «الاكتشاف النظري للآلية التي تساهم في فهم أصل كتلة الجسيمات دون الذرية theoretical discovery of a mechanism that contributes to the understanding of the origin of mass of subatomic particles».

4-3 نظرية الأوتار

في محاولة أخرى لاستكمال الصورة وربط القوى الأربع ببعضها البعض، تم اقتراح الكثير من الأفكار والنظريات الجديدة المثيرة للاهتمام. وتعتبر نظرية الأوتار string theory واحدة من أهم هذه النظريات الواعدة المبشرة ؛ ونظرية الأوتار في فيزياء الجسيمات، هي نظرية تحاول دمج ميكانيكا الكم مع نظرية النسبية العامة لأينشتاين، يأتي اسم النظرية من نمذجة الجسيمات دون الذرية ككيانات صغيرة على شكل وتر أحادي البعد بدلًا من النمذجة الأكثر تقليدية التي نتصور فيها الجسيمات الأوليةَ دون الذرية على شكل كرية صغيرة للغاية، تكاد تكون نقطة ذات أبعاد صفرية. ووفقًا لنظرية الأوتار، فإن جميع الجسيمات عبارة عن أوتار تتذبذب ذبذبات صغيرة جدًا، ويتوافق كل نوع من الذبذبات مع جسيم أولي مختلف، أي تشبّه هذه النظرية الجسيمات المختلفةَ بالنغمات (النوتات الموسيقية) المختلفة التي يمكن لعبها عن طريق «ضرب» و«شد» وتر الكمان أو العود بقوى مختلفة، وتقابل كل نغمة من النغمات المختلفة جسيمًا أوليًا مختلفًا.

منذ الثمانينيات، يعتقد الفيزيائيون أن نظرية الأوتار ستتمكن من دمج قوى الطبيعة الأربعة جميعها، الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوة القوية والقوة الضعيفة، ودمج جميع أشكال المادة في إطار واحد ضمن ميكانيكا الكم، وأن هذه النظرية قد تكون آخر المطاف في البحث عن نظرية المجال الموحد unified field؛ ومع أن نظرية الأوتار لا تزال حتى الآن مجالًا نابضًا بالحيوية من حيث التطور

الكثيف والسريع للأبحاث، إلا أنها تظل في المقام الأول بنية رياضية بحتة لم تحظَ بأي إثبات عملي بأي نتائج تجريبية.

على الرغم من عدم نجاح دمج النسبية العامة وميكانيكا الكم حتى الآن، فقد أثبتت البحوث المبكرة في إطار نظرية الأوتار أن مثل هذا الاتحاد سيتطلب بالضرورة تواجد الجسيم عديم الكتلة. واعتبر بعض علماء الفيزياء أن نظرية الأوتار، من خلال تبني مثل هذا الجسيم في البنية الأساسية للنظرية، قد توحد قوانين (النسبية العامة) التي تحكم العالَم الكبير (عالم الماكرو macro-world) وقوانين ميكانيكا الكم التي تحكم العالَم الصغير (عالم الميكرو micro-world)؛ وقد أكد هؤلاء الفيزيائيون أن نظرية الأوتار تتطلب إعادة تفسير مفاهيم كثيرة لتصبح خطوة حاسمة نحو نظرية المجال الموحد لأينشتاين، وقد تطلبت رياضيات النظرية ألا يكون للكون فقط الأبعاد الثلاثة المكانية، بل ستة أبعاد مكانية أخرى، بحيث يصبح المجموع تسعة أبعاد مكانية، أو ما مجموعه عشرة أبعاد لـ «زمكان».

وبسبب الصعوبات التي أدت إلى عدم نجاح النظرية في التطور، انخفض عدد «مريديها» من الفيزيائيين إلى اثنين - شوارز ومايكل جرين من كلية كوين ماري، كامبريدج، لندن؛ ولكن بحلول عام 1984، حقق هذان المنظِّران المثابران اختراقًا كبيرًا، من خلال عملية حسابية رائعة، أثبتوا أن معادلات نظرية الأوتار كانت متسقة نظريًا في النهاية، وبانتشار هذه النتيجة في جميع أنحاء مجتمع الفيزياء، اندفع المئات من الفيزيائيين الباحثين متحوّلين إلى نظرية الأوتار. وفي غضون

بضعة أشهر، تطور إطار نظرية الأوتار. ووفقًا للإطار الجديد، فإن الأوتار صغيرة جدًا، حوالي 33- 10 سم ؛ ويتم تحديد كتلة وشحنة الجسيم الأولي المقابل وفقا لكيفية ذبذبة الوتر، كما سبقت الإشارة.

ونظرًا لأن ذبذبات الوتر تحدد خصائص الجسيمات، مثل قيمة الكتلة والشحنة، فإن التنبؤ النظري بهذه الأمور يتطلب معرفة الشكل الهندسي للأبعاد الإضافية؛ ولسوء الحظ، فإن معادلات نظرية الأوتار حتى بداية العقد الأخير من القرن العشرين لم تكن تسمح للأبعاد الإضافية بأخذ أشكال هندسية محددة، مما كان يجعل من الصعب استنباط تنبؤات محددة قابلة للاختبار.

وحتى منتصف التسعينيات، كانت هذه العقبات وغيرها تعطل تطور نظرية الأوتار؛ ولكن في عام 1995، أعاد اقتراح الفيزيائي الأميركي إدوارد ويتن Edward Witten من «معهد الدراسات المتقدمة Institute for Advanced Study» الاهتمام بنظرية الأوتار، وبناء على مساهمات العديد من علماء الفيزياء الآخرين بما فيهم (إن لم يكن أولهم) عالم الفيزياء النظرية الأرجنتيني/الأميركي خوان مالداسينا Juan Maldacena من جامعة هارفارد، ظهرت مجموعة جديدة من التقنيات التي صقلت معادلات النظرية وكشفت عن ميزات جديدة لنظرية الأوتار، كما تم إدراك أن النظرية لا تتطلب فقط ستة أبعاد مكانية إضافية، بل سبعة بحيث تبلغ الأبعاد المكانية الكلية 10 بدلًا من 3 كما تعودنا. كما تبنت المعادلات الأكثر دقة أيضًا اقتراح «جسيمات» أو «أشياء» objects أخرى إلى جانب الأوتار وحيدة البعد، بل أقترح

أن تكون هذه الأشياء متعددة الأبعاد، وأطلقوا عليها اسم الأغشية branes.

وكان أهم ما قام به مالداسينا من تطوير في نظرية الأوتار في عام 1997، أنه اقترح توافق مع نظرية المجال الكمومي quantum field theory بتدشين نظرية مجال field theory جديدة، أطلق عليها اسم «نظرية المجال المطابق/ الحاضن المضاد دي (باختصار:/ AdS CFT)، واقترح أن نظرية الأوتار تعمل في بيئة معينة تنطوي على زمكان يُعرف باسم الفضاء الحاضن المضاد دي anti-de Sitter space؛ وقد ثبت أنَ هذا أحد أكثر الاكتشافات عمقًا في نظرية الأوتار، حيث أقام رابطًا قويًا مع الأساليب الأكثر تقليدية لنظرية المجال الكمومي، كما وفر مالداسينا صياغة رياضية دقيقة لنظرية الأوتار مما كان إلهامًا لظهور الآلاف من الدراسات النظرية الإضافية.

إن استكمال نظرية الأوتار عمل شاق للغاية، حيث إن ربط الأبحاث النظرية المتتالية في هذا المجال (المحافظ على حيويته للآن) يصبح مثل تجميع قطع صُور اللغز jigsaw puzzle شديد التعقيد. ومن أهم جوانب تطوير نظرية الأوتار هو ما يعرف الآن باسم «التناظر الفائق supersymmetry»، وهي خاصية رياضية تتطلب أن يكون لكل نوع معروف من الجسيمات جسيم شريك، يُطلق عليه اسم «شريك فائق superpartner»، وهو غير الجسيم المضاد (anti-particle)، وارتباطا بذلك يطلق بعض الفيزيائيين النظريين على هذا الاتجاه مصطلح «نظرية الأوتار الفائقة superstring theory» [انظر شكل

.[14

ومع أنه حتى الآن، لم يتم الكشف عن أي جسيم/شريك فائق تجريبيًا، لكن يعتقد الباحثون أن هذا قد يرجع إلى ما يُتوقع بأن تكون كتلته مهولة أثقل من نظيراتها المعروفة كثيرًا، ويتطلب كشفها أو توليدها معجلات مثل أو أقوي من مصادم هادرون الكبير LHC في مركز CERN؛ إلا أن كثير من العلماء يأملون في طريقة أخرى لاختبار نظرية الأوتار ذات يوم، مثلًا من خلال الدراسات المستقبلية على اللحظات الأولى لولادة الكون، أو اكتشاف ظاهرة كونية خافتة، مثل اكتشاف موجات الجاذبية بواسطة كاشف الليجو LIGO detector الذي كوفئ بجائزة نوبل للفيزياء 2017، أو اكتشاف نمط معين من الاختلافات في درجات الحرارة في إشعاعات خلفية الميكروويف الكونية قد يتمكن العلماء من ملاحظتها مستقبلا بواسطة الجيل التالي من التلسكوبات والكواشف الدقيقة، التي تحملها وستحملها الأقمار الصناعية المدارية أو سفن الفضاء المسافرة إلى أعماق المجرة. والجدير بالذكر أن سبب التمسك بنظرية الأوتار للآن برغم غياب أي تأكيد عملي تجريبي، يعود إلى نجاحاتها النظرية في اتجاه توحيد القوى وتوحيد المجالات field unification مقارنةً بالنظرية «النقطية» التقليدية.

سطور عن أ.د. مرسي الطحاوي

* من مواليد الأقصر، سبتمبر 1942، وفي خريف 1958 اختير ضمن ثلاثين مبعوثًا من أوائل الثانوية العامة للإيفاد في بعثة الدولة إلى الاتحاد السوفيتي وفي نهاية 1964 حصل على دبلوم الفيزياء النووية بامتياز من كلية الطبيعة جامعة موسكو للدولة.

* عمل معيدًا مدنيًا بالكلية الفنية العسكرية ثم معيدا بقسم الطبيعة النووية بمؤسسة الطاقة الذرية بأنشاص وفي 1968 /10 أوفد بقرار جمهوري للحصول على الدكتوراه من الاتحاد السوفييتي حيث عمل في مجال البحوث النووية في كلية الطبيعة جامعة موسكو وفي المعهد الدولي المتحد للأبحاث النووية JINR في دوبنا (مدينة الأبحاث النووية على نهر الفولجا – 90كم شمالي موسكو) وحصل على الدكتوراه في مايو 1973، وعمل كباحث أول في معهد دوبنا لمده ستة أشهر.

* عمل مدرسًا باحثًا بمؤسسة الطاقة الذرية من نوفمبر 1973، وحصل على لقب أستاذ مساعد للفيزياء النووية في المؤسسة في صيف 1979، كما عمل في التدريس في الكليات العلمية لجامعتي الأزهر وطنطا؛ وفى جامعات ليبيا والعراق والجزائر حتى صيف 1989.

* أمضى سنة أجازة بحثية Sabbatical year كأستاذ باحث زائر في معهد البحوث النووية لجامعة موسكو للعام الدراسي 89/1990، حيث عمل في مجال بحوث التفاعلات النووية.

*منذ فبراير/شباط 1990 يعمل في هيئة الرقابة النووية والإشعاعية (المركز القومي للأمان النووي والرقابة الإشعاعية بهيئة الطاقة الذرية سابقًا) كأستاذ مساعد ثم أستاذ ثم أستاذ متفرغ.

* نشر أكثر من 80 بحثًا في المجلات العلمية المتخصصة (أساسًا الدولية منها) ذلك فى مجالات الفيزياء النووية الفيزياء الإشعاعية البيئية كما أشرف على العشرات من رسائل الماجستير والدكتوراه.

* أشرف على عدد من المشروعات البحثية المعضدة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومشروعات التعاون الفني بين الوكالة ومنظمة الأفرا، ومشروعين مهمين لأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا (للدراسة الإشعاعية البيئية لشبه جزيرة سيناء) كباحث رئيسي، كما اقترح وأشرف على عدة مشروعات بحثية/خدمية لصندوق دعم البحوث بهيئة الطاقة الذرية، وعمل ويعمل مشرفًا وعضوًا بكثير من اللجان العلمية والفنية والخدمية لهيئة الطاقة الذرية ومركز الأمان النووي وهيئة الرقابة النووية والإشعاعية».

* خبير لتكليفات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ضمن برامج التعاون الفني، حيث اسمه مدرج في قائمة الوكالة المعروفة بالروستر منذ مايو 1995.

* عضو مجلس إدارة الجمعية المصرية للفيزياء النووية، والسكرتير العلمي لمجلتها الدورية «مجلة الفيزياء النووية والإشعاعية JNRP ».

* اشترك في عشرات من اجتماعات ومؤتمرات وسيمانارات وورش

عمل دولية، معظمها في المقر الرئيسي للوكالة الدولية للطاقة الذرية في فيينا ومقر الوكالة للبحوث البحرية البيئية في موناكو وفي عدد من المراكز العلمية الدولية؛ مع تنظيم أكثر من ورشة عمل دولية ووطنية في مجالات التدريب على القياسات النووية والإشعاعية.

*** من نشاطاته في مجال التأليف والترجمة والنشر:**

- تأليف كتاب بعنوان «الطاقة النووية السلمية في مصر والبلاد العربية»، الهيئة المصرية العامة للكتاب، 2013.

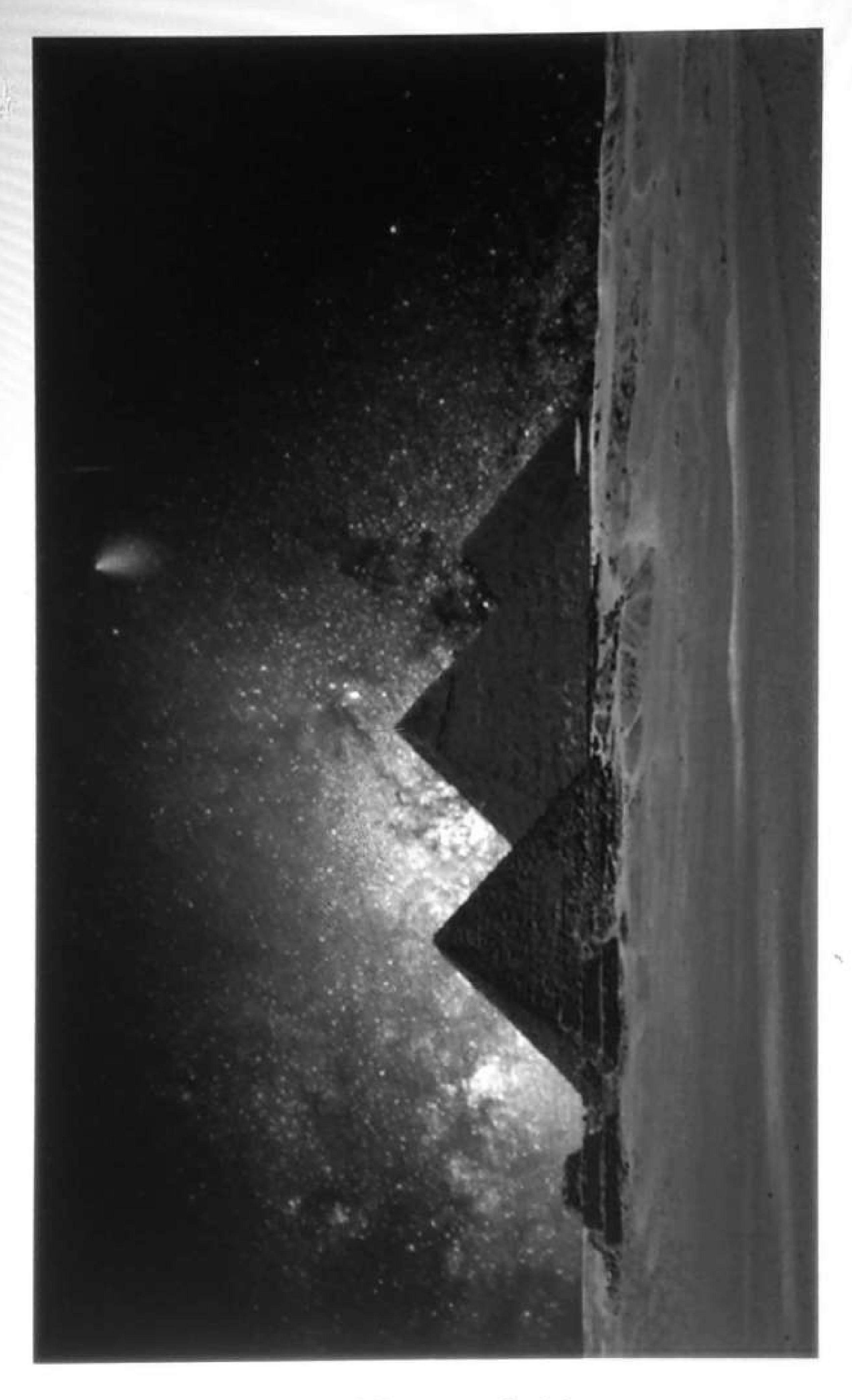
- ترجمة روايتين (الفلاحون ، العنبر رقم 6) لأنطون تشيخوف ذلك في سلسلة روايات عالمية لدار الكتاب العربي، العدد 481 بتاريخ 11 مايو 1968 (وجدير بالذكر أنها أول ترجمة من الروسية مباشرة في تاريخ النشر العربي)؛ وأعادت دار آفاق نشرهما في 2016 .

- ترجمة عدد من الكتب العلمية من الروسية لدار «مير»، وترجمة بعض وثائق ومنشورات الوكالة الدولية للطاقة الذرية من الإنجليزية، والاشتراك في ترجمة بعض الوثائق والكتب الخاصة بالحرب العالمية الثانية من الإنجليزية والروسية.

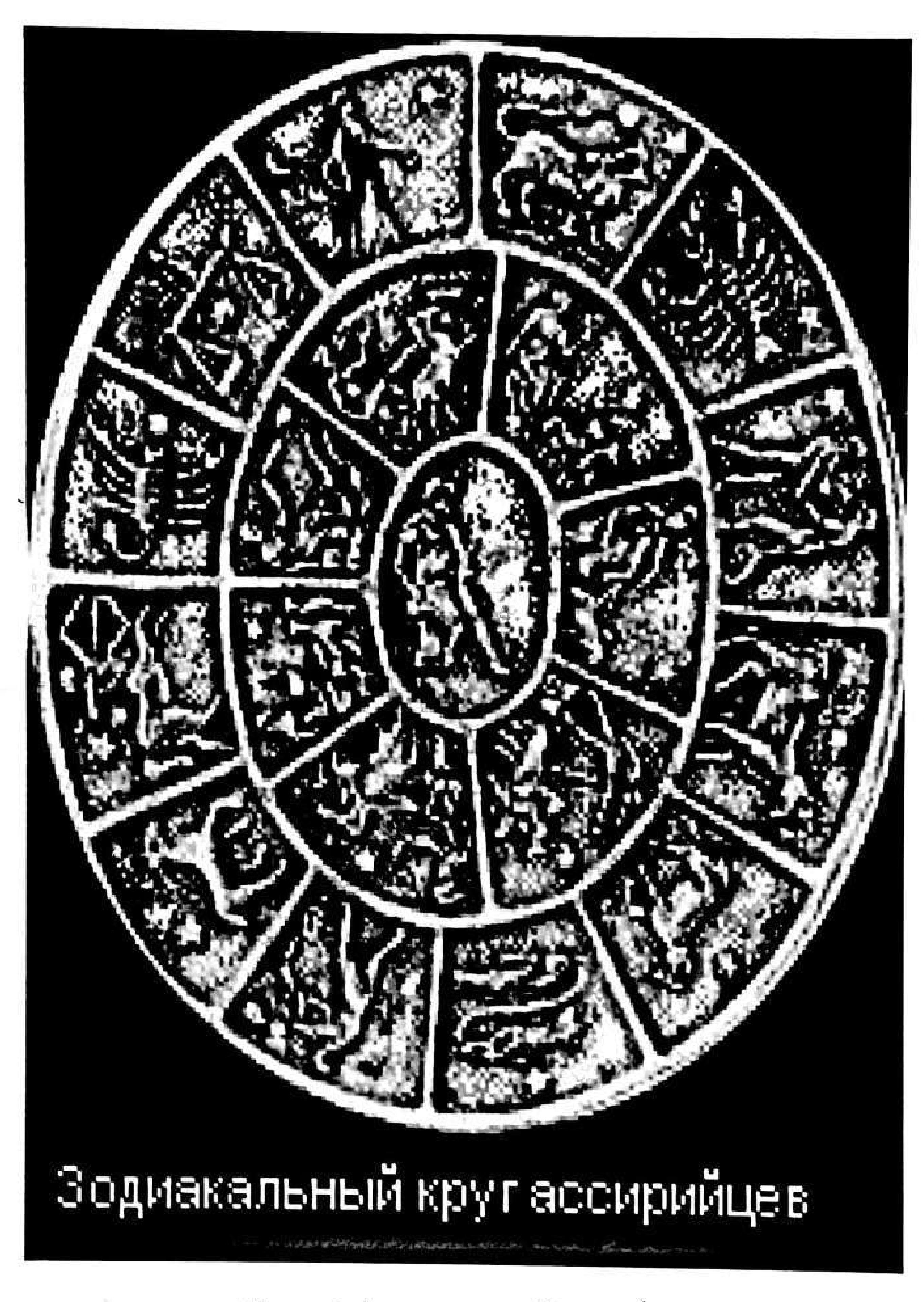
ملحق الأشكال



شكل 1: تركيبة نابتا بلايا الحجرية



شكل 2: ترتيب الاهرامات



شكل 3: أبراج الأشوريين حضارة بين النهرين



[شكل 4] المؤلف أثناء زيارة خاصة لجامعة كامبردج (جسر على [نهر] كام

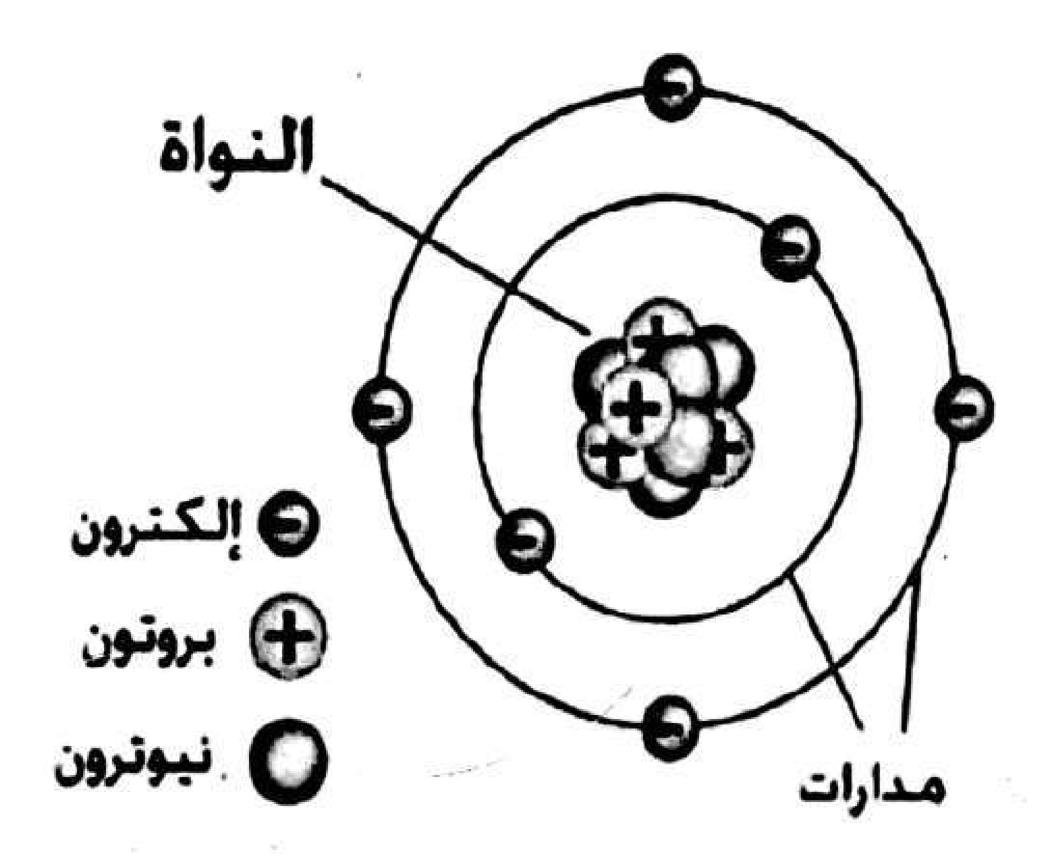
إذا تُرجم اسم المدينة إلى العربية)، وراء نهر «كام» تظهر إحدي بنايات الجامعة



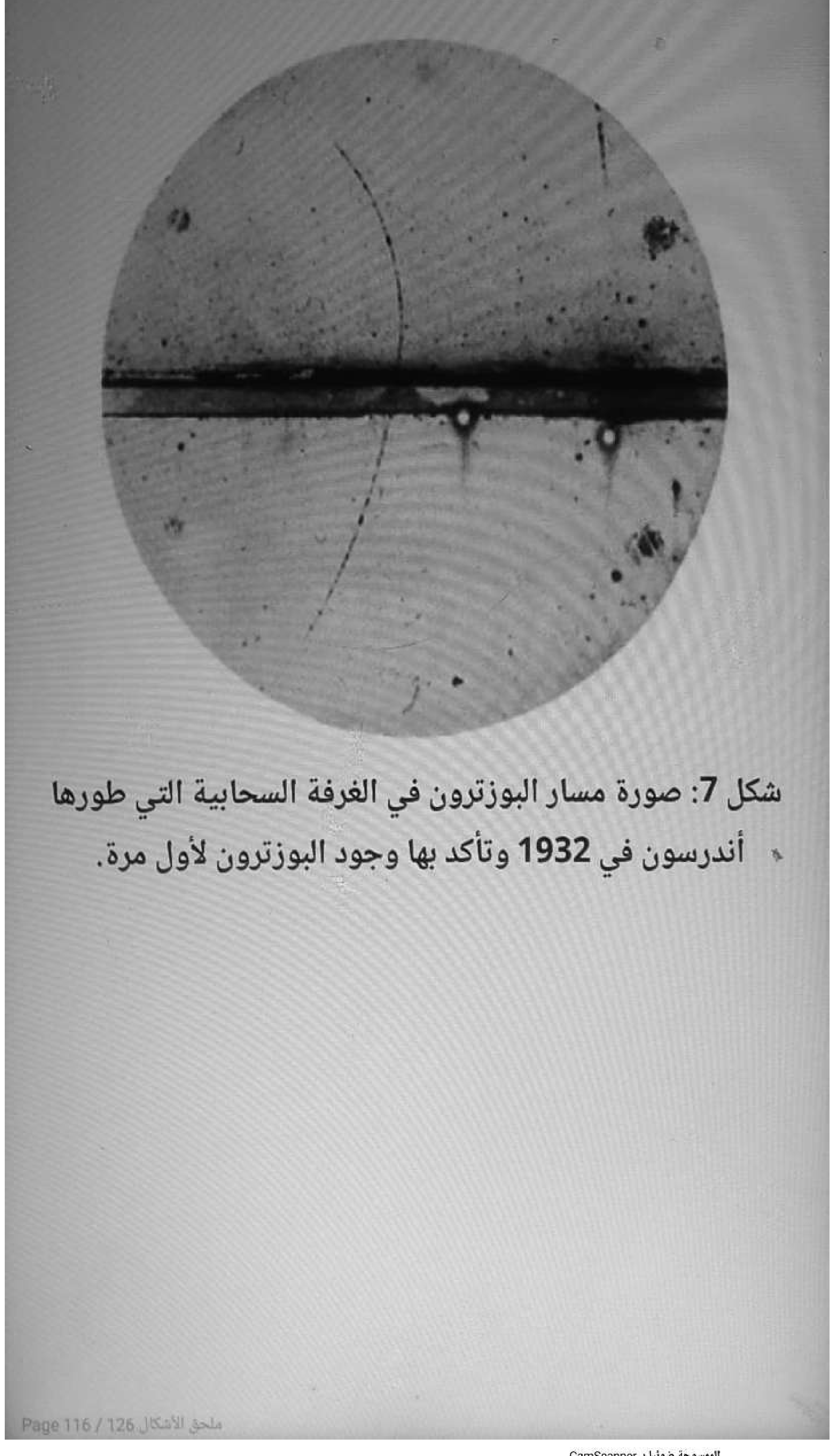
شكل 5 : المؤلف أمام مبنى معامل كافندش القديم،جامعة

كامبردج، «مسقط رأس»

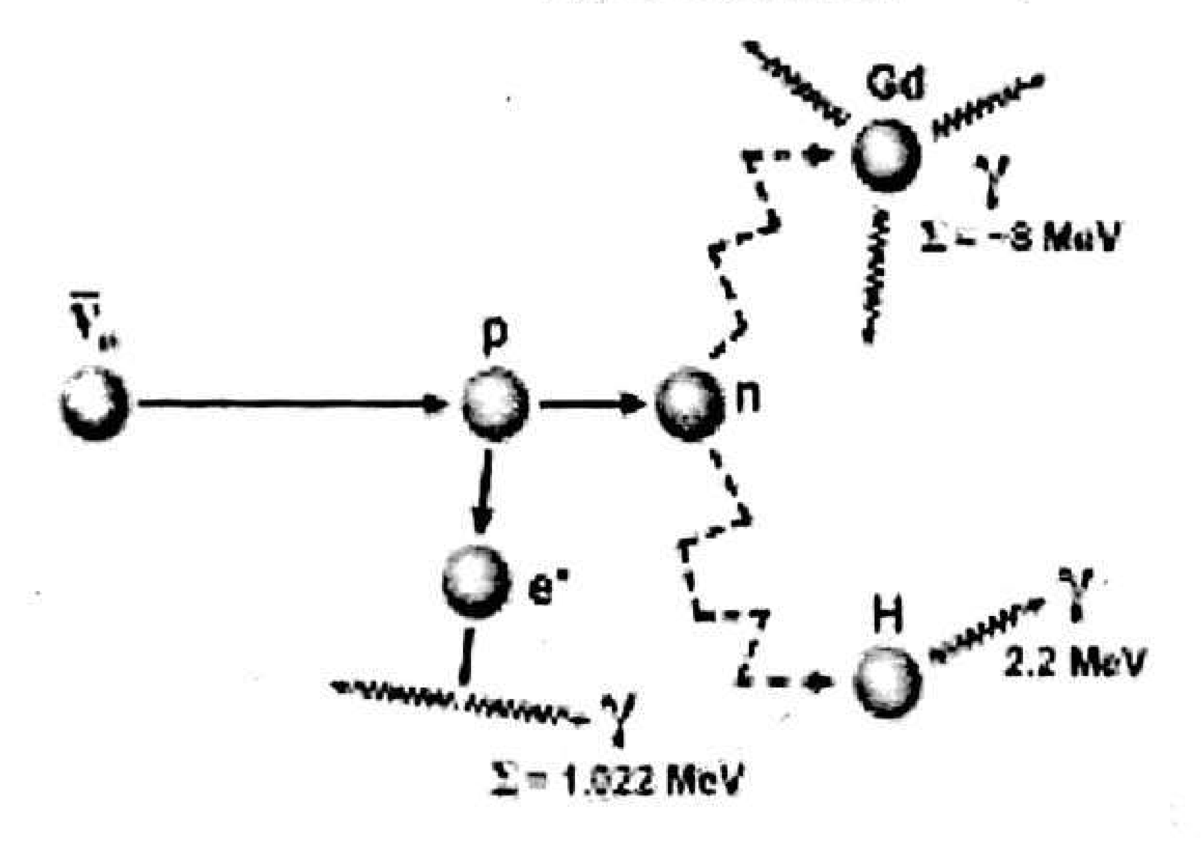
الجسيمات الأولية الثلاثة التي تتكون منها ذرات جميع العناصر.



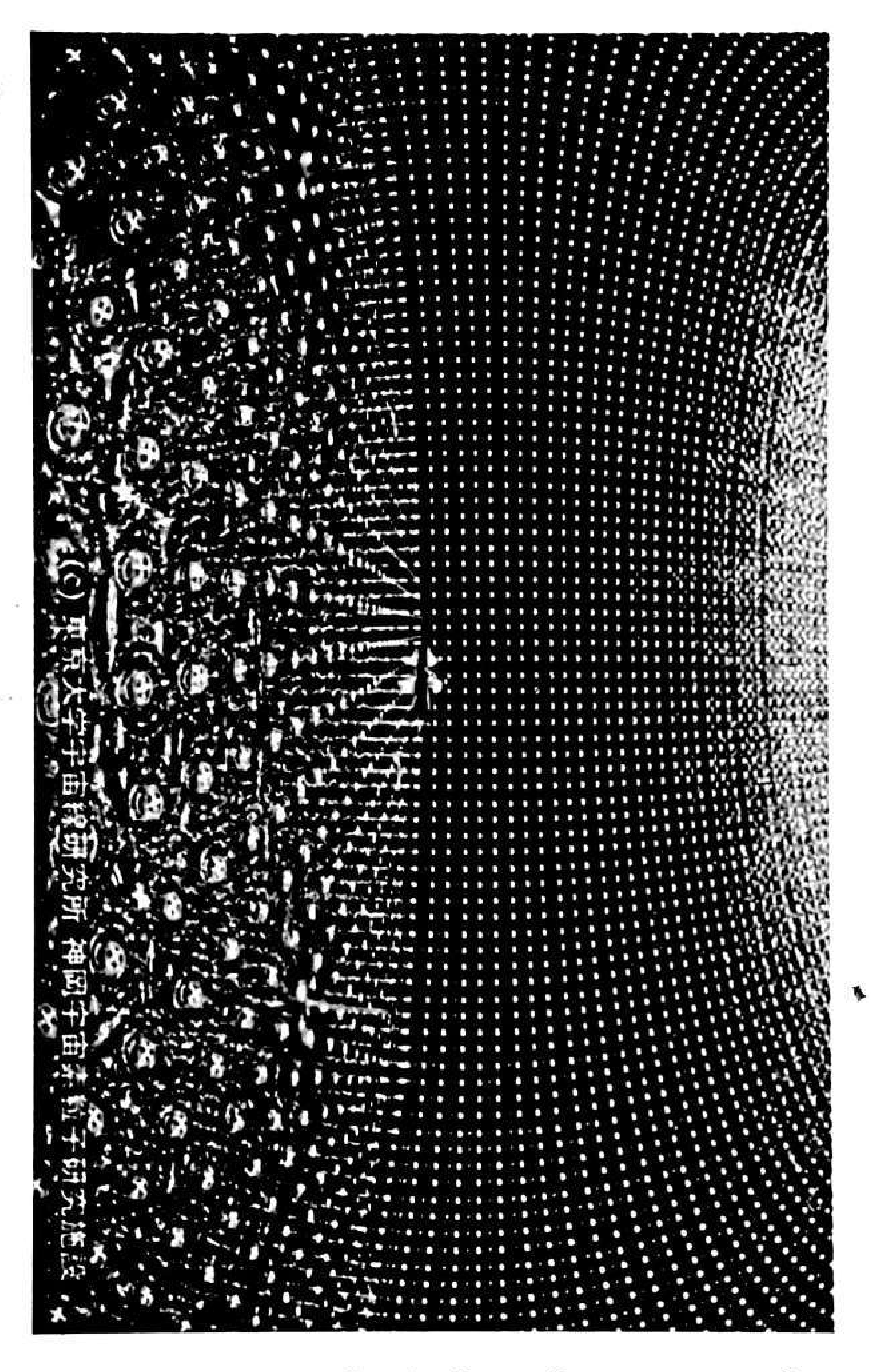
شكل 6: صورة تخطيطية لتركيب الذرة من الجسيمات الأولية الثلاثة؛ علمًا بأن حجم النواة بالنسبة للذرة أقل بحوالي مائة ألف مما في الصورة.



شكل 7: صورة مسار البوزترون في الغرفة السحابية التي طورها أندرسون في 1932 وتأكد بها وجود البوزترون لأول مرة.



شكل 8: رسم تخطيطي لتجربة فريدريك رينيس للكشف عن النيوترينو



شكل **9**: صورة توضح الحجم العملاق لكاشف «سوبر كاميوكاندي **Super Kamiokande** » وبه **50** ألف طن من الماء عالي النقاوة موجود داخل منجم كاميوكا الياباني على عمق **1** كم، مع**11** ألف من

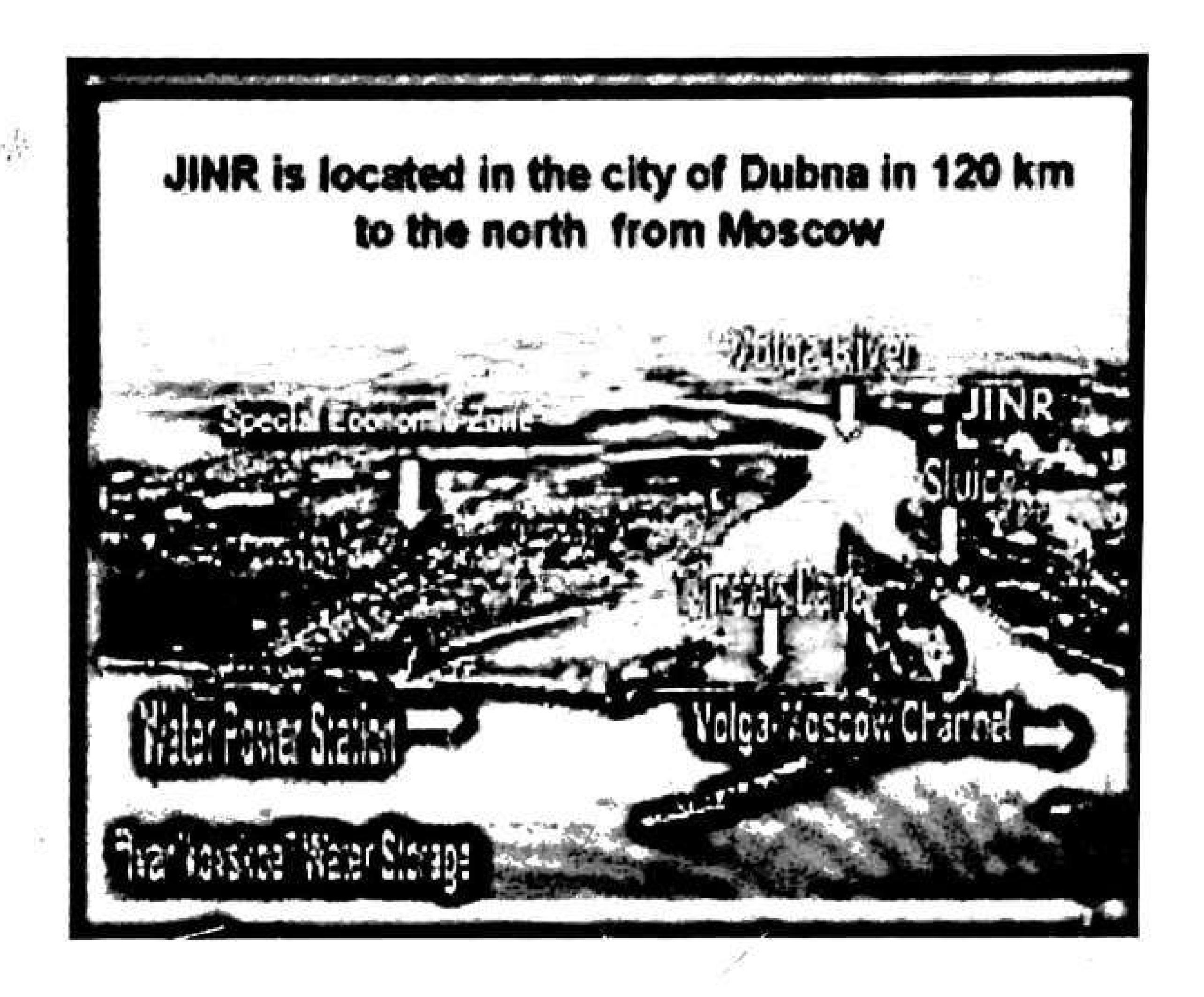
أنابيب التضاعف الضوئي، لاحظ- يوجد فنيان في قارب بمنتصف أعلى الصورة .

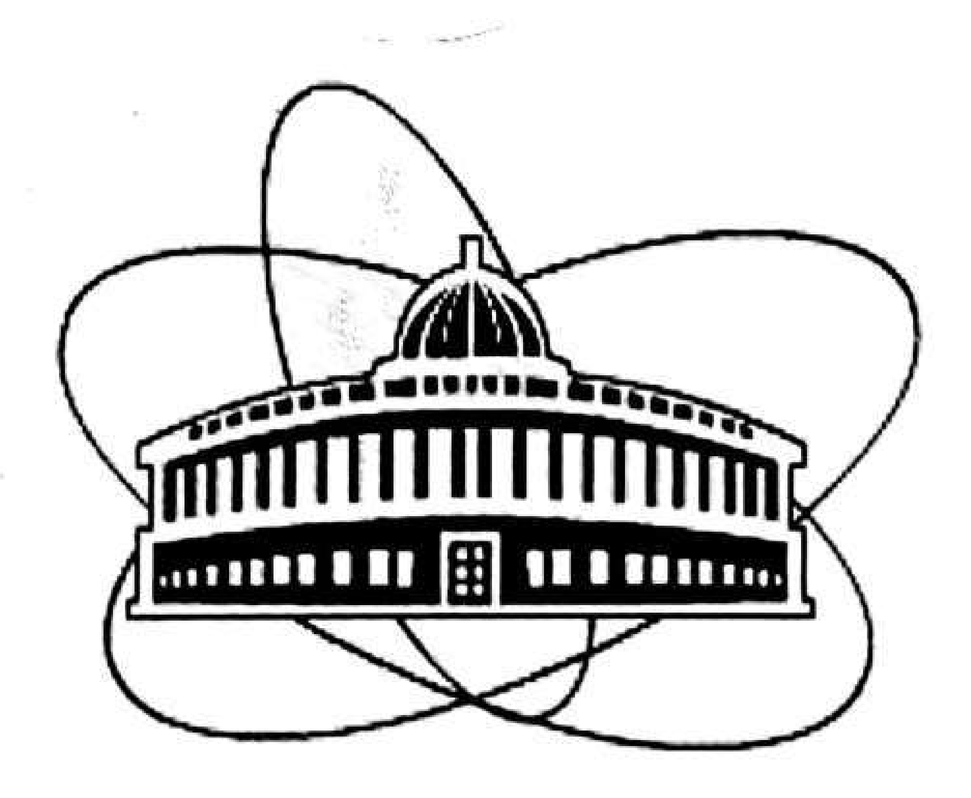


شكل **10**: موقع مركز معامل فيرمي في ولاية إلينوي الأميركية، حيث يوجد السينكروترون فائق الموصلية **superconductivity synchrotron**، وهو أهم منشآت المركز، ويسمى «التيفاترون **Tevatron**»، ويبلغ طول محيطه **6.3** كم، وتجد في الصورة طريق للسيارات فوق محيط انبوب تعجيل السينكروترون المدفون تحت سطح الأرض.



شكل 11: الأشعة الكونية



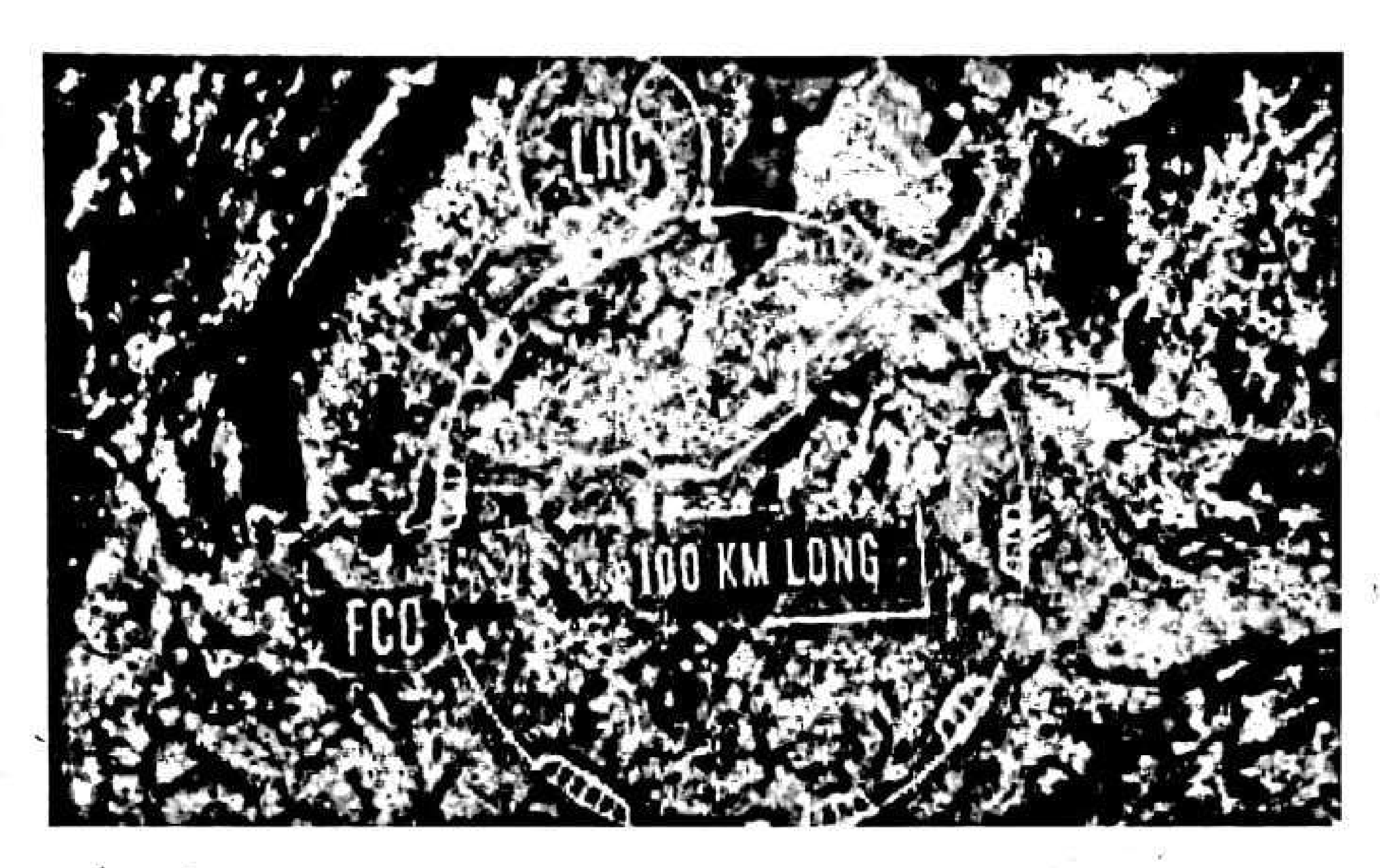


JOINT INSTITUTE
FOR NUCLEAR RESEARCH

شكل 12: المعهد المتحد للبحوث النووية، ويقع في مدينة دوبنا على ضفاف نهر الفولجا على بعد حوالي 120 كم شمال موسكو،

حيث أنجز المؤلف التجارب العملية الخاصة برسالته للدكتوراه، كما بقي به كأستاذ زائر لستة أشهر للإشراف على أبحاث مرتبطة بموضوع الرسالة (التفاعلات النووية المنتجة لثلاث جسيمات ألفا) واصلها فيزيائي من جمهورية قرجيزيا السوفييتية (سابقًا)





شكل 13: صور عن المركز الأوروبي للبحوث CERN المهتم أساسا ببحوث الجسيمات الأولية، ومن انجازاته عظيمة الأثر (خارج نطاق فيزياء الطاقة العالية) تدشين شبكة الإنترنت العالمية WWW.

النموذج القياسي للجسيمات الأولية

ثلاثة أجيال من المادة (الفيرميونات)

	I	II	III	
الكواركات	≈2.4 MeV/c² 2/3 1/2 u العلوي	≈1.275 GeV/c² 2/3 1/2 c الساحر	≈172.44 GeV/c² 2/3 1/2 t القمي	0 0 1 g غلوون
الكواركات	≈4.8 MeV/c² -1/3 1/2 d السفلي	≈95 MeV/c² -1/3 1/2 s الغريب	≈4.18 GeV/c² -1/3 1/2 b القعري	0 0 1 γ فوتون
اللبتونات	≈0.511 MeV/c² -1 1/2 e إلكترون	≈105.67 MeV/c² -1 1/2 μ ميوون	≈1.7768 GeV/c² -1 1/2 τ تاو	≈91.19 GeV/c² 0 1 Z بوزونات ضعيفة
اللبتونات	<2.2 eV/c² 0 1/2 ν_e نيوترينو إلكترون	<1.7 MeV/c² 0 1/2 ν_μ نيوترينو ميوون	<15.5 MeV/c² 0 1/2 ν_τ نيوترينو تاو	≈80.39 GeV/c² ±1 1 W بوزونات ضعيفة

البوزونات العيارية

شكل 15


د. مرسي الطحاوي
فيزياء
الجسيمات
الأولية


تم الرفع بواسطة:
Telegram:@mbooks90